

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR E CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA DE UMA PISCINA COBERTA E PROPOSTAS DE MELHORIA

Patrícia Isabel Furtado Morim

Novembro 2014

Orientador: Eng.º Christopher Sá

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Dr. Jaime Sousa por autorizar o estudo nas Piscinas Municipais. Queria também agradecer ao Dr. Rui Pereira, bem como aos restantes colaboradores, toda a ajuda prestada sempre que me dirigi às instalações.

Gostaria de agradecer ao Dr. Abel Almeida e ao Dr. Fernandes pela informação e esclarecimento prestado no que diz respeito à Central de Ciclo Combinado.

Ao meu orientador do ISEP, Doutor Christopher Sá, por toda a disponibilidade e ajuda prestada, bem como pela liberdade e confiança que prestou durante a realização deste estudo.

Agradeço a todos os docentes do ISEP que contribuíram para a minha formação académica.

Gostaria também de agradecer aos meus pais e à minha irmã, por todo o carinho, dedicação, compreensão e apoio prestados durante todo este tempo e por todos os esforços que fizeram para que fosse possível a minha realização académica.

Ao meu namorado, por todo o apoio, compreensão, carinho e ajuda prestada durante todo este tempo.

Por último, gostava de agradecer a todos os meus amigos que fizeram parte da minha vida académica e sempre me acompanharam, por toda a amizade que me demonstraram.

Resumo

A presente dissertação tem dois objetivos, o primeiro é a realização de uma auditoria energética e avaliação da qualidade do ar às instalações de uma Piscina Municipal, permitindo a sua classificação energética, e o segundo é o estudo de propostas de melhoria que contribuam para uma melhor eficiência energética do edifício.

Na análise à qualidade do ar interior os parâmetros avaliados encontravam-se todos dentro dos limites estabelecidos por lei, com exceção dos valores de COVs que em dois pontos de medição (ambos na nave) ultrapassaram os limites estabelecidos por lei.

A auditoria ao edifício permitiu verificar que o caudal mínimo de água nova nas piscinas imposto por lei é cumprido pela instalação. No que diz respeito ao caudal de ar novo introduzido, este apenas é respeitado quando a unidade de tratamento de ar está a debitar 100% da sua capacidade. Quando a unidade opera a 50% da sua capacidade apresenta um défice de 5% do valor mínimo estabelecido. Relativamente às perdas energéticas associadas aos tanques de natação, estas apresentam um valor de 95,89 kW, em que 59,09 kW dizem respeito às perdas por evaporação. Foi também possível concluir que as perdas por evaporação representam cerca de 39% da energia calorífica produzida nas caldeiras.

O edifício apresenta um consumo anual de eletricidade de 166 482 kWh em que 69% deste valor é provocado pelas unidades de tratamento de ar e a iluminação apresenta apenas um peso de 3%. Em relação ao gás natural consumido pelas caldeiras o seu valor anual é de 1 317 240 kWh.

A simulação dinâmica do edifício permitiu concluir que este apresenta um IEE de 1 269,9 kWh/m².ano. O rácio de classe energética (R_{IEE}) é de 1,24 o que significa que o edifício pertence à classe energética C.

As medidas estudadas para a melhoria da eficiência energética, nomeadamente integração energética com uma central de ciclo combinado, aplicação de cobertura isotérmica nas piscinas e substituição do telhado na zona da nave, mostraram-se viáveis. O estudo da possibilidade da realização de uma integração energética permitiu concluir que a poupança anual é de 9 374 € e o investimento é recuperado em menos de 1,5 anos. Relativamente à aplicação de cobertura isotérmica o investimento é de 14 000 € e é recuperado em 2 anos. A substituição do telhado na zona da nave tem um investimento de 20 500 € e a recuperação realiza-se num período de 3,5 anos.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Auditoria Energética, QAI, Simulação Dinâmica, Integração Energética.

Abstract

This dissertation has two objectives, the first is to conduct an energy audit and an evaluation of air quality at the premises of a municipal pool allowing its energy rating, and the second is the study of improvement proposals that will contribute to better energy efficiency of the building.

The indoor air quality parameters evaluated are all within the limits established by law, except the amounts of VOCs that two of measurement points exceeded the limits established by law.

The audit of the building allowed us to verify that the new minimum flow of water in the pools imposed by law is fulfilled. The minimum flow rate of fresh air introduced is only observed when the air handling unit is 100% of its charge capacity. When the unit operates at 50% of capacity the minimum set value is not reached. About the energy losses associated with pools have a value of 95.89 kW, where 59.09 kW is related to losses by evaporation. It was also possible to conclude that evaporation losses represent 39% of the heat energy produced in the boilers.

The building has an annual electricity consumption of 166 482 kWh in which 69% of this is caused by air handling units and the lighting has a weight of only 3%. The annual amount of energy consumed by natural gas boilers is 1 317 240 kWh.

Dynamic simulation of the building concluded that energy efficiency indicator (IEE) is 1 269,9 kWh / m².year. The ratio of energy class (R_{IEE}) is 1.24 which means that the building belongs to the energy class C.

The study of the possibility of conducting an energy integration showed that the annual savings is € 9,374 and the investment is recovered in less than 1.5 years. For the application of isothermal coverage of the investment is € 14,000 and is recovered in two years. The replacement of the roof area has an investment of € 20,500 and recovery takes place in a period of 3.5 years.

Keywords: Energy Efficiency, Energy Audit, Indoor Air Quality, Dynamic Simulation, Energy Integration.

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Motivação	1
1.2	Local.....	1
1.3	Objetivo	2
1.4	Estrutura da dissertação	2
2	Estado da arte	5
2.1	Auditorias Energéticas.....	5
2.2	Indicadores de eficiência energética.....	8
2.3	Classificação energética do edifício	9
2.4	Enquadramento legal.....	10
3	Caracterização Física da Piscina Municipal	15
3.1	Circuito de circulação/recirculação da água.....	17
3.2	Quantidade e Qualidade da água utilizada	18
4	Análise da Qualidade do Ar Interior	19
4.1	Qualidade do ar interior	19
4.1.1	Zonas de medição	19
4.1.2	Parâmetros da Qualidade do Ar Interior.....	20
4.1.3	Caudal de ar novo	29
5	Consumos energéticos	33
5.1	Produção de energia térmica.....	33
5.2	Aquecimento da água.....	34
5.3	Perdas energéticas.....	36
5.4	Consumo de gás pelas caldeiras	41
5.5	Consumos elétricos	41
5.6	Aquecimento do ar.....	45
5.7	Classificação energética do edifício	46
5.7.1	Simulação dinâmica.....	46
5.7.2	Construção do modelo computacional.....	47

5.7.3	Simulação real.....	51
5.7.4	Perfis de simulação real	51
5.7.5	Resultados da simulação real.....	54
5.7.6	Cálculo dinâmico simplificado.....	55
5.7.7	Indicadores de eficiência energética e classificação do edifício	60
6	Propostas de melhoria.....	61
6.1	Integração Energética.....	61
6.1.1	Caso de estudo	61
6.2	Instalação de uma cobertura isotérmica	65
6.2.1	Análise económica da instalação da cobertura isotérmica	66
6.3	Substituição do telhado da zona da nave	66
6.3.1	Análise económica da aplicação de novas telhas	67
	Conclusões.....	69
	Anexo A – Áreas das diversas divisões do edifício	73
	Anexo B – Valores registados nas medições dos parâmetros QAI.....	74
	Anexo C – Quantidade de água utilizada	77
	Anexo D – Carta psicrométrica	80
	Anexo E – Consumos de eletricidade, gás natural e água	81
	Anexo F – Resultados do Cálculo Dinâmico Simplificado do desempenho térmico do edifício	83
	Anexo G – Resultados do Cálculo Dinâmico Simplificado do desempenho térmico do edifício com substituição do telhado	87
	Anexo H – Resultados do cálculo de poupança energética com a implementação da integração energética	89

Lista de Figuras

Figura 2.1. Níveis de classificação energética [8]	10
Figura 3.1. Planta das piscinas	16
Figura 3.2. Esquema ilustrativo do funcionamento de uma piscina	17
Figura 4.1. Planta das instalações das piscinas.....	20
Figura 4.2. Valores de matéria particulada registados nas medições.....	21
Figura 4.3. Valores de monóxido de carbono registados nas medições.....	22
Figura 4.4. Valores de dióxido de carbono registados nas medições.....	23
Figura 4.5. Valores de formaldeído registados nas medições	24
Figura 4.6. Valores de radão obtidos na medição	25
Figura 4.7. Valores de COVs obtidos na medição.....	26
Figura 4.8. Valores de temperatura obtidos na medição da zona da nave	27
Figura 4.9. Valores de temperatura obtidos na medição das várias salas do edifício ..	28
Figura 4.10. Valores de humidade relativa registados na nave	28
Figura 4.11. Valores de humidade relativa registados nas várias salas do edifício	29
Figura 4.12. Esquema simplificado da localização da insuflação e extração.....	30
Figura 5.1. Esquema simplificado do uso da fonte de produção de calor.....	33
Figura 5.2. Percentagem de cada tipo de perda	40
Figura 5.3 Percentagem de consumo por espaço.....	43
Figura 5.4 Percentagens de energia elétrica consumida por cada uma das piscinas (relativamente às bombas de circulação).....	44
Figura 5.5. Dados climáticos de referência para simulação dinâmica	48
Figura 5.6. Vista da lateral oeste do edifício	49
Figura 5.7. Vista da lateral este do edifício	49
Figura 5.8. Vista de cima do edifício	49
Figura 5.9. Vista de frente do edifício (norte)	50
Figura 5.10. Vista de trás do edifício (sul).....	50
Figura 5.11. Perfil real de ocupação das piscinas	52
Figura 5.12. Perfil real de equipamentos.....	52
Figura 5.13. Perfil de iluminação real.....	53
Figura 5.14. Perfil AVAC real	53
Figura 5.15. Ganhos internos anuais do edifício	54
Figura 5.16. Página inicial da aplicação STE-MONAZONA	56
Figura 5.17. Necessidades anuais em energia útil.....	59
Figura 5.18. Consumos anuais finais por uso	59
Figura 5.19. Consumos anuais de energia final por fonte de energia.....	60

Figura 6.1. Primeira proposta de integração energética.....	62
Figura 6.2. Segunda proposta de integração energética.....	64
Figura 7.1. A figura da esquerda [20] representa uma telha de chapa simples e a da direita [21] uma telha do tipo sanduíche.....	67
Figura D.1 Carta psicrométrica com os valores de humidade relativa para as perdas por evaporação.....	80

Lista de Tabelas

Tabela 2.1. Consumos de energia a considerar no IEES e no IEET [7]	9
Tabela 2.2. Limiares de proteção para os poluentes físico-químicos	13
Tabela 2.3. Parâmetros microbiológicos	13
Tabela 3.1. Consumos mensais de água por utilizador e consumo mensal total.....	18
Tabela 4.1 Limiares de proteção para compostos orgânicos voláteis específicos a considerar na verificação da conformidade dos COVs [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].....	26
Tabela 4.2. Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devida à ocupação [13]	31
Tabela 5.1. Consumos elétricos por espaço	42
Tabela 5.2. Potência elétrica consumida pelas bombas de circulação.....	43
Tabela 5.3. Consumos elétricos por parte da unidade de tratamento de ar	44
Tabela 5.4. Consumos elétricos por utilizador e consumo final.....	45
Tabela 5.5. Comparação entre os consumos reais da auditoria energética e os consumos reais da simulação.....	55
Tabela 5.6. Zona térmica – espaços tipo A.....	56
Tabela 5.7. Zona térmica – espaços tipo B.....	57
Tabela 5.8. Diversos equipamentos de consumo regulado.....	57
Tabela 5.9. Necessidades de água quente	57
Tabela 5.10. Envolvente exterior – paredes, coberturas e pavimentos	58
Tabela 5.11. Vãos envidraçados.....	58
Tabela 5.12. Comparação dos consumos finais anuais obtidos na auditoria e na simulação	60
Tabela 5.13. Índices de eficiência energética	60
Tabela 6.1. Temperaturas da água do Rio Douro (média de 2011, 2012 e 2013).....	63
Tabela 6.2. Poupanças energéticas e monetárias anuais com a integração energética	64
Tabela 6.3. Custo dos equipamentos e investimento total	65
Tabela 6.4. Energia poupada com a aplicação de uma cobertura na piscina.....	66
Tabela 6.5. Consumos energéticos com os dois tipos de telhado.....	67
Tabela A.1. Áreas de cada divisão do edifício	73
Tabela B.1 Valores das medições das partículas.....	74
Tabela B.2. Valores de radão registados	74
Tabela B.3. Valores de compostos orgânicos voláteis registados.....	75
Tabela B.4. Valores de formaldeído registados.....	75
Tabela B.5. Valores de temperatura registados	75

Tabela B.6. Valores de humidade relativa registados	76
Tabela B.7. Valores de dióxido de carbono registados	76
Tabela B.8. Valores de monóxido de carbono registados	76
Tabela C.1. Valores do fator de rendimento e de ocupação específica.....	77
Tabela E.1. Valores dos consumos de eletricidade em 2011 em kWh.....	81
Tabela E.2. Valores dos consumos de eletricidade em 2012 em kWh.....	81
Tabela E.3. Valores dos consumos de eletricidade em 2013 em kWh.....	82
Tabela E.4. Valores dos consumos de gás natural em m ³	82
Tabela E.5. Valores dos consumos de água em m ³	82
Tabela F.1. Necessidades anuais	83
Tabela F.2. Consumos anuais de energia final	83
Tabela F.3. Consumos anuais de energia final	84
Tabela F. 4. Clima e local	84
Tabela F. 5. Síntese dos parâmetros de entrada do modelo 5R1C.....	85
Tabela F. 6. Índices de eficiência energética	86
Tabela G.1. Necessidades anuais que são expressas em energia útil com telhado novo.....	87
Tabela G.2. Consumos anuais de energia final, por uso com telhado novo	87
Tabela G.3. Consumos anuais de energia final, por fonte de energia com o telhado novo	88
Tabela G.4. Índices de Eficiência Energética com o telhado novo	88
Tabela H.1. Energia gasta no aquecimento da água de compensação com integração e sem integração energética.....	89
Tabela H.2. Energia gasta no aquecimento da AQS com integração e sem integração energética.....	89
Tabela H.3. Energia gasta no aquecimento do ar novo com integração e sem integração energética.....	90
Tabela. H.4. Propriedades dos equipamentos [18, 19, 20].....	91

Nomenclatura

Carateres romanos

E – Energia total consumida, kWh

F_A - Fator que depende da frequência de banhistas e do tipo de piscina

f – Fator de ocupação específica

H – Profundidade média do tanque, m

h_i – Coeficiente de convecção, W/(m².K)

IEE – Indicador de eficiência energética, kWh_{EP}/m².ano

k – Fator de rendimento

K_C, k_t – Coeficiente médio de transferência de calor, W/(m².K)

m_E – Caudal, kg/s

n – Número dos dispositivos;

N – Número de ciclos diários de renovação de água

P, P_P, P_E, P_C, P_{RA}, P_R, P_T, P_{Caldeira}, P_D – Potências, kW

PCI – Poder calorífico inferior, kcal/m³

Q, Q_{compensação}, Q_{AR} – Caudais, m³/h;

R – Fator de recirculação, h/m

R_{IEE} – Rácio de classe energética

S_p – Área do plano de água, m²

t – tempo de funcionamento dos dispositivos.

T – Período de recirculação da água

v - Velocidade de ar junto do plano de água em m/s;

V, Q_{gás} – Volumes, m³

Y_p e Y_n - Humidade absolutas do ar saturado à temperatura da água do tanque e do ar da nave, respetivamente, kg vapor/kg ar seco

Carateres gregos

ε_p e ε_t – Coeficientes de absorção

θ_n , θ_p , θ_t , θ_a – Temperaturas, °C;

λ – Calor latente de vaporização em kJ/kg.

ρ – Densidade da água, kg/m³

σ – Constante de Stefan-Boltzmann, W/(m².K⁴);

Abreviaturas

AQS – Águas Quentes Sanitárias

CNQ – Conselho Nacional de Qualidade

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

COVs – Compostos Orgânicos Voláteis

DL – Decreto de Lei

IEE – Indicador de Eficiência Energética

ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

PM – Matéria Particulada

QAI – Qualidade do Ar Interior

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Motivação

O crescente desenvolvimento populacional conduz a um aumento do consumo energético que na prática nem sempre ocorre de forma eficiente. [1] Sendo a energia um bem essencial ao bem-estar, quer a nível económico quer a nível social, torna-se crucial a existência de planos de racionalização de energia para promover a existência de uma maior diversidade de serviços e conforto, sem no entanto haver um aumento do consumo energético.

Atualmente os países desenvolvidos têm como objetivo o aumento da sua eficiência energética onde, para isso, o consumo de energia por produto ou serviço efetuado deve ser o menor possível. Este tipo de prática é mais visível no setor industrial. No entanto no setor dos transportes e dos edifícios a eficiência energética não tem aumentado como desejado. [2]

Hoje, Portugal ainda apresenta uma elevada dependência energética e uma maneira de contornar essa mesma dependência é aumentar a eficiência energética nos edifícios sobretudo no setor terciário. Curiosamente o setor terciário dos edifícios (que inclui as piscinas cobertas) tem aumentado o seu consumo energético. Posto isto, torna-se importante repensar no modo como a energia é consumida por parte deste tipo de edifícios.

As piscinas cobertas, que são o objeto de estudo desta dissertação, apresentam alguma complexidade relativamente à sua gestão e funcionamento, uma vez que exigem um consumo energético considerável para a sua climatização. Deste modo torna-se importante encontrar formas de reduzir os consumos energéticos sem nunca colocar em causa o bem-estar e o conforto dos utentes.

1.2 Local

O presente estudo foi efetuado numa Piscina Municipal pertencente ao distrito do Porto. Dada a sua proximidade a uma central de ciclo combinado, pôs-se também em hipótese o estudo de uma integração energética.

1.3 Objetivo

Esta dissertação tem como principal objetivo a realização de uma auditoria energética e uma avaliação da qualidade do ar às instalações de uma Piscina Municipal, bem como a classificação energética do edifício.

Um outro objetivo é o estudo de propostas de melhoria que contribuam para uma melhor eficiência energética do edifício.

Sendo assim esta dissertação tem como base os seguintes pontos:

- Avaliação dos parâmetros da qualidade do ar interior;
- Auditoria energética – análise de pontos de possíveis desperdícios de energia;
- Classificar energeticamente o edifício;
- Avaliar possíveis propostas de melhoria.

1.4 Estrutura da dissertação

O presente trabalho encontra-se dividido em 7 capítulos. De seguida é apresentada uma breve descrição de cada um. Além da divisão por capítulos, o trabalho contém também referências e anexos no final.

Capítulo 1 – Neste capítulo encontra-se o enquadramento e motivação do trabalho, assim como o objetivo principal e ainda a descrição e localização do estudo efetuado.

Capítulo 2 – O segundo capítulo é o estado da arte, onde se encontram explicados vários conceitos, nomeadamente, o das auditorias energéticas, dos indicadores de eficiência energética, da classificação energética de um edifício e o enquadramento legal.

Capítulo 3 – No terceiro capítulo encontra-se a caracterização física do edifício em estudo.

Capítulo 4 – Este capítulo contém todos os resultados referentes às medições dos parâmetros da qualidade do ar interior que foram medidos durante a visita ao edifício, bem como os valores limites estabelecidos por lei. Encontra-se também o caudal de ar novo que o sistema de tratamento de ar debita.

Capítulo 5 – Neste capítulo estão expostos os consumos energéticos do edifício, nomeadamente, o aquecimento das águas (AQS e piscinas), as perdas energéticas, os consumos de gás natural por parte das caldeiras e os consumos elétricos discriminados por utilizador. Este capítulo contém também a classificação energética do edifício, onde

se encontra a simulação dinâmica, a construção do modelo computacional, a simulação real e o cálculo dinâmico simplificado. Estão também expostos os valores dos indicadores de eficiência energética bem como a classificação energética do edifício.

Capítulo 6 – Este capítulo contém propostas de melhoria que sendo implementadas contribuem para uma melhor eficiência energética do edifício.

No último capítulo são apresentadas as conclusões obtidas no estudo.

2 Estado da arte

A crescente pressão ambiental veio reforçar a necessidade da utilização de forma eficiente da energia. Quer seja por imposição legal, quer pela necessidade de cumprir requisitos ambientais ou até mesmo por uma questão de imagem, a verdade é que cada vez mais o tema eficiência energética está na ordem do dia. É com base no que foi referido anteriormente, que a auditoria energética tem particular importância.

O conhecimento da situação energética da instalação é o primeiro pilar para o começo do processo de gestão de energia. Este princípio é lógico uma vez que para gerir é fundamental conhecer o objeto de gestão. Sendo assim, o levantamento energético é o primeiro passo para se efetuar a avaliação de quanta energia é consumida e de como é que é utilizada para posteriormente se definir onde atuar. [3]

2.1 Auditorias Energéticas

A realização de uma auditoria energética compreende o estudo das condições de utilização de energia na instalação bem como a identificação de possíveis melhorias no desempenho energético desta, tendo como principal objetivo a redução do peso da fatura energética na estrutura dos custos globais. [4]

As auditorias podem ser simples ou completas, dependendo do grau de complexidade da instalação e do fim a que se destina. As simples têm como objetivo um diagnóstico da situação energética de uma instalação, onde existe apenas uma observação visual para a identificação de falhas. A auditoria completa consiste num levantamento aprofundado da situação energética, analisando-se as quantidades de energia utilizadas em cada uma das operações do processo de fabrico. [3] Esta permite o conhecimento de onde, quando e como a energia é utilizada, qual a eficiência dos equipamentos e onde se registam desperdícios de energia, indicando também quais as soluções para as anomalias que foram encontradas.

A auditoria energética torna-se assim um instrumento fundamental, e indispensável para o gestor de energia conseguir contabilizar os consumos de energia, a eficiência energética dos seus equipamentos e as perdas que se verificam, tendo como finalidade última reduzir essas perdas sem afetar a produção, ou seja, economizar energia através do uso mais eficiente da mesma. [3]

As auditorias energéticas podem ser divididas em três tipos dependendo do edifício, nomeadamente:

- Auditorias energéticas a edifícios industriais – neste tipo de edifícios a fatura energética não apresenta um peso tão significativo como os custos de produção, mão-de-obra e matéria-prima sendo a gestão de energia negligenciada frequentemente, conduzindo a desperdícios de energia que consequentemente provocam a redução da competitividade das empresas. A ideia que o crescimento económico traz consigo um aumento do consumo energético não é uma ideia que, atualmente, se encontra presente na mente das grandes indústrias, pois o conceito de utilização racional veio alterar de uma forma decisiva a forma de encarar a energia, provando que existe a possibilidade de crescimento sem, no entanto, aumentar os consumos ou afetar a qualidade da produção.
- Auditorias energéticas a edifícios residenciais – este tipo de auditorias são indicadas para quem quer conhecer melhor os consumos da sua habitação e, assim, poder reduzir os custos das suas faturas energéticas através de uma análise detalhada.
- Auditorias energéticas a edifícios de serviços – esta tem como base a caracterização dos sistemas energéticos presentes com o objetivo de converter estas formas de energia em energia final. A auditoria tem ainda o propósito de verificar se estão satisfeitas as condições de conforto térmico pretendidas, bem como avaliar os consumos específicos de cada utilização final e/ou sector do edifício (iluminação, climatização, ventilação, cozinha, etc.) e calcular o indicador de eficiência energética (IEE), para assim ser possível identificar medidas de racionalização energética de modo a melhorar o desempenho energético. [5]

A execução de uma auditoria energética compreende uma série de análises e fases de teste para que o edifício, que está a ser avaliado, possa receber o certificado energético. Esta, durante o seu processo de desenvolvimento, pode ser resumida em quatro fases distintas. A primeira fase, ou fase de preparação, tem uma grande importância pois serve de suporte à auditoria que se irá realizar e normalmente é composta pelos seguintes pontos:

- Visita prévia às instalações;
- Recolha de dados relativos aos últimos três anos de atividade;
- Estudo e análise do processo que se encontra em atividade;
- Levantamento de equipamentos e tecnologias existentes no mercado que possuam uma alta eficiência e possam ser implementadas.

A primeira fase tem como principal finalidade o primeiro contacto com a instalação bem como a recolha dos dados fundamentais (consumos de energia por tipo de energia, por ano, fatura energética por tipo de energia, por ano, e custos anuais de exploração).

A segunda fase tem como base a intervenção no local. Inicia-se a fase de trabalho de campo, que habitualmente começa com a recolha de toda a informação necessária para o preenchimento do modelo de inquérito (anteriormente apresentado pelos auditores), bem como corrigir informação escrita que eventualmente estaria errada. Nesta intervenção analisa-se as condições de utilização da energia na instalação que permitam:

- Caracterizar os equipamentos produtores e consumidores de energia, quer a nível de consumo quer a nível de eficiência energética;
- Determinar os consumos de energia final em cada sector da empresa;
- Elaborar balanços de massa e de energia dos equipamentos que apresentem um maior consumo;
- Propor soluções técnicas, ou de gestão, que conduzam à redução dos consumos de energia, mantendo o mesmo nível de prestação;
- Propor a instalação de aparelhos de medida, de registo de grandezas energéticas em pontos estratégicos, que permitirão ao gestor fazer uma monitorização adequada, quer na sua globalidade quer por sectores produtivos da empresa.

Depois de completadas a primeira e a segunda fase, procede-se ao tratamento da informação (terceira fase da auditoria energética). Este tratamento é realizado de modo a que se consiga resposta para um conjunto de indicadores cuja comparação deverá ser estabelecida previamente. Os elementos fundamentais para os indicadores são os seguintes:

- Consumos de energia final, nomeadamente, energia global da instalação, por sector produtivo, por equipamento significativo e por tipo de energia consumida;
- Consumos específicos – energia global da instalação, por sector produtivo, por equipamento significativo e por tipo de energia consumida;
- Consumos unitários dos equipamentos mais importantes a nível energético;
- Rendimentos energéticos dos principais equipamentos consumidores e produtores de energia;
- Intensidades energéticas – energia global da produção, por sector produtivo e por tipo de energia;

- Soluções tecnológicas (energéticas e de processo) com vista a serem implementadas e com o objetivo de produzirem acréscimos na eficiência energética do sistema;
- Análises técnico-económicas de custo-benefício das soluções tecnológicas apresentadas;
- Soluções organizacionais para a implementação de um sistema de gestão de energia permanente, caso este não exista. [6]

Terminado todo o processo, tem-se a última fase da auditoria que consiste na elaboração de um relatório que contenha, de forma organizada, toda a informação recolhida, a análise efetuada relativamente à situação energética da empresa, a identificação das anomalias bem como as propostas de melhoria para as solucionar. O relatório deve apresentar aos gestores da empresa toda a informação relevante sobre a situação energética da instalação.

A estrutura de um relatório de auditoria varia consoante as características específicas do subsector de atividade e da instalação auditada, devendo constar os seguintes elementos:

- Objetivos e enquadramento da auditoria;
- Identificação da instalação;
- Contabilidade energética;
- Análise dos equipamentos de produção, distribuição e utilização de energia;
- Cálculo de consumos específicos de energia por produto fabricado e a sua comparação com os valores legislados.

Na elaboração deste relatório deverá ainda ter-se em consideração que a auditoria energética constitui um instrumento fundamental para o início de um processo continuado de gestão da energia na empresa auditada. [3]

2.2 Indicadores de eficiência energética

O desempenho energético de um edifício de comércio e serviços é avaliado pela determinação do seu Indicador de Eficiência Energética (IEE). O IEE de um edifício de comércio e serviços é determinado com base no somatório dos diferentes consumos anuais de energia, agrupados em indicadores parciais e convertidos para energia primária, por unidade de área interior útil de pavimento, tendo por base a seguinte expressão (em kWh_{EP}/m².ano):

$$IEE = IEE_S + IEE_T - IEE_{ren} \quad (2.1)$$

Em que:

IEE_S – Representa os consumos de energia que são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, com base na informação da Figura 2.1;

IEE_T – Representa os consumos de energia que não são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, com base na informação da Figura 2.1.

IEE_{ren} – Determinado com base na produção de energia elétrica e térmica a partir de fontes de energias renováveis. [7]

Na Tabela 2.1 encontram-se os consumos de energia a considerar nos cálculos do IEE_S e IEE_T .

Tabela 2.1. Consumos de energia a considerar no IEE_S e no IEE_T [7]

Consumos no IEE_S	Consumos no IEE_T
<ul style="list-style-type: none">• Aquecimento e arrefecimento ambiente, incluindo humedificação e desumidificação• Ventilação e bombagem em sistemas de climatização• Aquecimento de águas sanitárias e de piscinas• Iluminação interior• Elevadores, escadas e tapetes rolantes (a partir de 1 de janeiro de 2016)• Iluminação exterior (a partir de 1 de janeiro de 2016)	<ul style="list-style-type: none">• Ventilação e bombagem não associada ao controlo de carga térmica• Equipamentos de frio• Iluminação dedicada e de utilização pontual• Elevadores, escadas e tapetes rolantes (até 31 de dezembro de 2015)• Iluminação exterior (até 31 de dezembro de 2015)• Todos os restantes equipamentos e sistemas não incluídos em IEE_S

2.3 Classificação energética do edifício

A classificação energética é um indicador global do desempenho energético do edifício e é obtida através do valor do rácio de classe energética (R_{IEE}) [8]:

$$R_{IEE} = \frac{IEE_S - IEE_{ren}}{IEE_{ref,S}} \quad (2.2)$$

Em que:

$IEE_{ref,S}$ – Representa os consumos de energia de referência que são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício.

Consoante o valor de R_{IEE} obtido, o edifício pode ter 8 classificações possíveis, desde A+ a F. Sendo que A+ representa os edifícios com melhor desempenho energético e F representa os edifícios com pior desempenho energético. Na Figura 2.1 encontram-se os vários níveis de classificação energética tendo em conta o valor do R_{IEE} . [8]

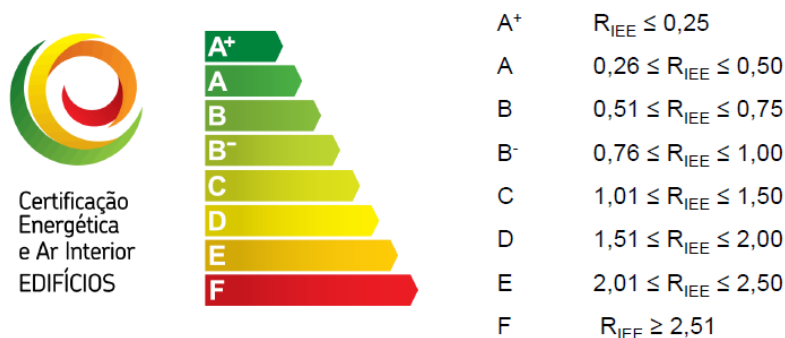


Figura 2.1. Níveis de classificação energética [8]

2.4 Enquadramento legal

O Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto surge de uma junção de três diplomas, de 4 Abril de 2006, que se encontravam anteriormente em vigor, o Decreto-Lei n.º 78/2006, que aprovou o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, o Decreto-Lei n.º 79/2006, que aprovou o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, e o Decreto-Lei n.º 80/2006, que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.

A 19 de maio de 2010 foi publicada a Diretiva n.º 2010/31/EU, relativamente ao desempenho energético dos edifícios, que consistiu na reformulação do regime estabelecido anteriormente pela Diretiva n.º 2002/91/CE. Esta diretiva veio clarificar alguns princípios e introduzir novas disposições com o intuito de reforçar o quadro de promoção do desempenho energético por parte dos edifícios, tendo em conta as metas estabelecidas pelos Estados-Membros para 2020. Posto isto, o Decreto-Lei n.º 118/2013, para além de assegurar a transposição da Diretiva n.º 2010/31/EU, contém também uma revisão da legislação nacional, constituindo assim num só diploma o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

Sendo assim os requisitos e a avaliação de desempenho passam a ter como base os seguintes pontos:

- Relativamente aos edifícios de habitação: estes assumem uma posição de destaque no comportamento térmico e na eficiência dos sistemas;
- Em relação aos edifícios de comércio e serviços, estes para além de assumirem uma posição de destaque no comportamento térmico e na eficiência dos sistemas, têm um acréscimo ao nível da instalação, da condução e da manutenção de sistemas técnicos.

Cada um dos pontos referidos anteriormente tem ainda definido os princípios gerais que são especificados para os novos edifícios, edifícios que se encontram sujeitos a grande intervenção e edifícios existentes. A existência de uma meta que deve ser atingida até 2020 possibilita a antecipação e adaptação do mercado de maneira a ser possível a existência de edifícios cada vez mais eficientes. Neste sentido ficam igualmente sujeitos a padrões mínimos de eficiência energética os sistemas de climatização, de preparação de água quente sanitária, de iluminação e de aproveitamento de energias renováveis.

O uso de energias renováveis continua a ser um complemento à eficiência energética, havendo um especial destaque para a energia solar, pois trata-se de uma energia que existe em grande abundância no país. Seguindo esta conjuntura, surge o conceito de edifício cujas necessidades de energia são praticamente nulas, este tipo de edifício será padrão a partir de 2020, ou até mesmo a partir de 2018, para edifícios novos de entidades públicas, assim como base para as grandes intervenções no edificado existente.

Relativamente à política de qualidade de ar interior, considera-se mais importante a manutenção dos valores mínimos de caudal de ar novo por espaço e os limites de poluentes do ar interior de modo a salvaguardar os níveis de proteção de saúde e bem-estar dos ocupantes dos edifícios. Assim sendo, dá-se especial importância à ventilação natural em vez da ventilação mecânica, havendo assim uma redução de custos. As auditorias de qualidade do ar interior são eliminadas, contudo mantém-se a necessidade de se proceder ao controlo das fontes de poluição para a redução de possíveis riscos para a saúde pública. Com esta reforma no decreto-lei a atuação dos diferentes técnicos e entidades envolvidas é clarificada e pormenorizada, tendo como objetivo uma maior e melhor integração dos diferentes agentes envolvidos no controlo e verificação da qualidade no âmbito do SCE.

No desenvolvimento do Decreto-Lei n.º 118/2013 torna-se importante determinar os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior dos edifícios de comércio e

serviços novos. Sendo assim surgiu a Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro, onde tudo isto se encontra especificado.

Relativamente à ventilação esta pode ser feita por meios naturais, mecânicos ou uma combinação de ambos. A ventilação natural baseia-se em soluções que permitem que o escoamento do ar nos espaços interiores do edifício ocorra de forma natural, através da existência de aberturas permanentes ou controláveis. Um espaço é considerado adequadamente ventilado se as condições do método base ou dos métodos simplificado ou condicional da Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de dezembro, forem verificadas. Qualquer um dos métodos referidos deve assegurar que os sistemas de ventilação natural possuem meios que permitam limitar a renovação excessiva de ar.

A ventilação mecânica realiza-se com recurso a sistemas de equipamentos que promovam a renovação do ar interior através da extração do ar do espaço e/ou insuflação de ar exterior ou de uma mistura com ar novo vindo do exterior. Neste tipo de ventilação deve ser garantida uma distribuição homogênea do ar novo pelo espaço, um sistema de ventilação que garanta o caudal mínimo de ar novo previsto pelo RECS e uma eficácia na remoção dos poluentes do sistema de ventilação. O valor de caudal mínimo de ar novo que deve ser considerado para um espaço, deve ser determinado pelo método analítico ou pelo método prescritivo, nos termos e disposições descritos na Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro.

Fiscalização da QAI em edifícios existentes

Nos grandes edifícios de comércio e de serviços a fiscalização QAI é realizada pela IGAMAOT aplicando a metodologia estabelecida pelas entidades competentes e mantendo os registos e a documentação necessária que evidenciem o cumprimento dos critérios de qualidade. Os limiares de proteção para os poluentes físico-químicos e as condições de referência para os parâmetros microbiológicos a considerar são os previstos respetivamente na Tabela 2.2 e na Tabela 2.3.

Tabela 2.2. Limiares de proteção para os poluentes físico-químicos

Poluentes	Unidade	Limiar de proteção	Margem de tolerância (MT) (%)
Partículas em suspensão (fração PM ₁₀)	(µg/m ³)	50	100
Partículas em suspensão (fração PM ₂₅)	(µg/m ³)	25	100
Compostos orgânicos voláteis totais (COVs)	(µg/m ³)	600	100
Monóxido de carbono (CO)	(mg/m ³)	10	-
	(ppmv)	9	
Formaldeído (CH ₂ O)	(µg/m ³)	100	-
	(ppmv)	0,08	
Dióxido de carbono (CO ₂)	(mg/m ³)	2250	30
	(ppmv)	1250	
Radão	(Bq/m ³)	400	-

Tabela 2.3. Parâmetros microbiológicos

	Matriz	Unidade	Condições de referência
Bactérias	Ar	(UFC/m ³)	Concentração de bactérias totais no interior inferior à concentração no exterior, acrescida de 350 UFC/m ³
Legionella spp	Água	(UFC/L)	Concentração inferior a 100 UFC/L, exceto no caso da pesquisa em tanques de torres de arrefecimento em que deve verificar-se uma concentração inferior a 1000 UFC/L. Ausência de <i>Legionella pneumophila</i>
Fungos	Ar	(UFC/m ³)	Concentração de fungos no interior inferior à detetada no exterior

Os parâmetros acima tabelados aplicam-se à temperatura de 20° C e à pressão de 1 atm (101,325 kPa) para as concentrações em µg/m³ e mg/m³. Os limiares de proteção indicados dizem respeito a uma média de 8 horas e as margens de tolerância previstas são aplicáveis a edifícios existentes e edifícios novos sem sistemas mecânicos de ventilação. A análise de radão é obrigatória em edifícios construídos em zonas graníticas, nomeadamente nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco.

3 Caracterização Física da Piscina Municipal

O edifício onde se encontra a piscina municipal entrou em funcionamento em 1997. A piscina é do tipo coberta e pertence a um grupo de sete piscinas públicas geridas pela Câmara Municipal.

O edifício é composto por 21 divisões, sendo a maior divisão a nave com 840 m² e com um pé direito de 6,64 m. Na nave existem duas piscinas, a maior com 25 m de comprimento por 10,2 m de largura, com um volume de água de 433,5 m³ e a mais pequena, com 10,1 m de comprimento por 6 m de largura, tem um volume de 75,75 m³.

Para além da nave o edifício é composto por dois balneários (masculino e feminino), um bar, a receção, duas salas dos professores, a sala das caldeiras e a sala dos filtros. E à exceção da nave, todas as divisões apresentam um pé direito de 2,80 m. O edifício completo apresenta uma área coberta de 1392 m² e no Anexo A encontra-se tabelado o valor das áreas das diversas divisões. Na Figura 3.1 encontra-se uma planta do edifício onde é possível visualizar a disposição das divisões.

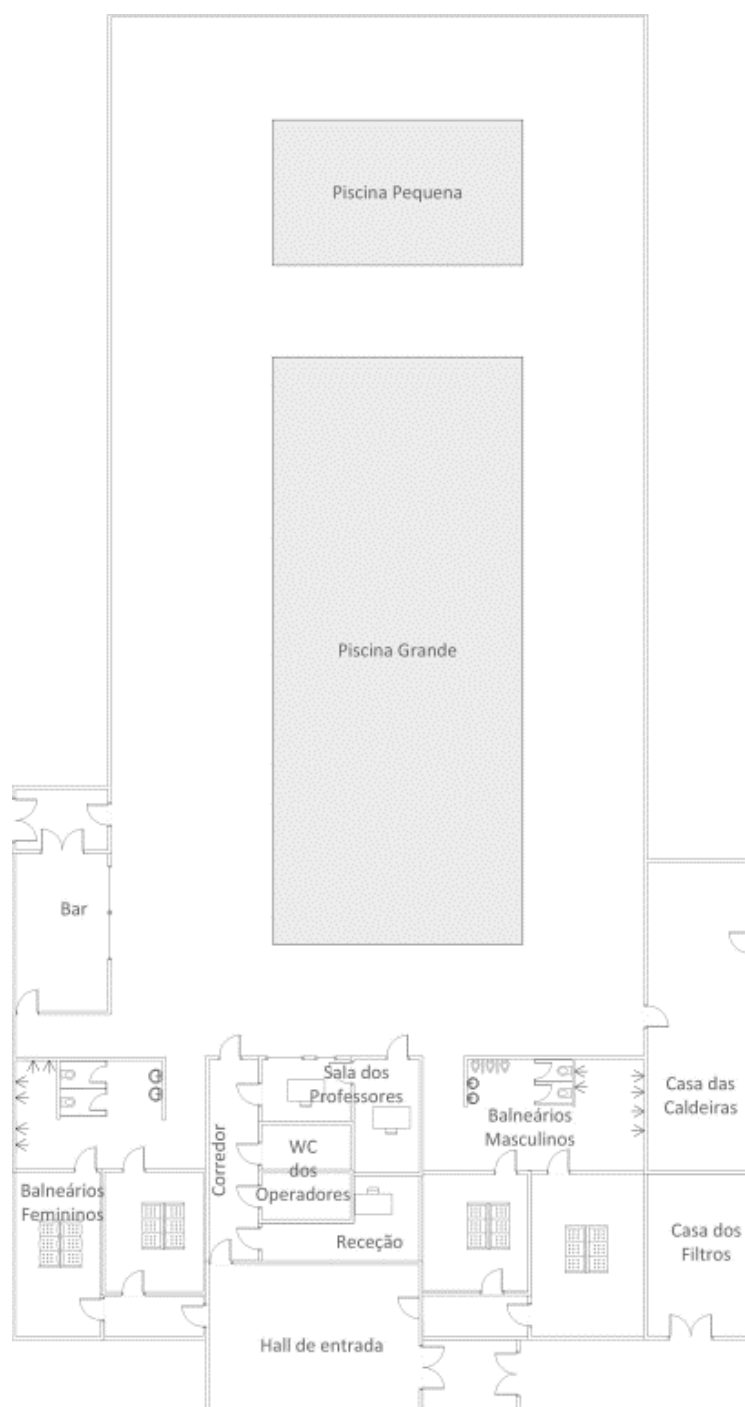


Figura 3.1. Planta das piscinas

3.1 Circuito de circulação/recirculação da água

A água sai por cima através das caleiras, e segue para o tanque de compensação, onde é adicionada a água de compensação, posteriormente é tratada e aquecida regressando ao tanque de natção através dos bicos injetores que se encontram nas laterais do tanque. Na Figura 3.2 encontra-se um esquema onde o circuito da água bem como os diversos equipamentos presentes numa piscina se encontram representados.

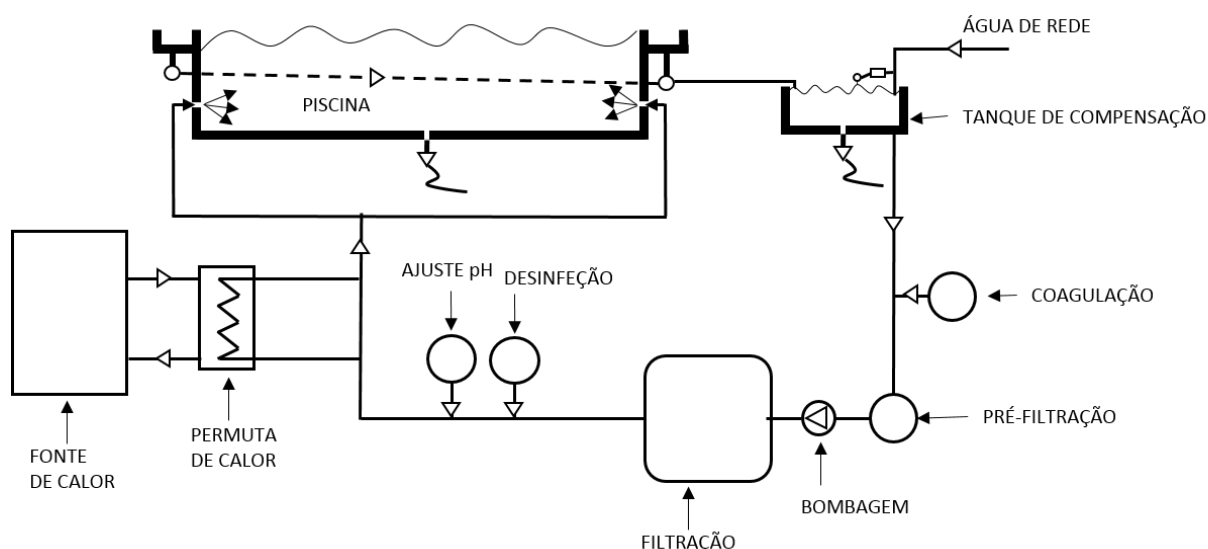


Figura 3.2. Esquema ilustrativo do funcionamento de uma piscina

No caso das piscinas em estudo, cada uma das piscinas possui dois filtros instalados em paralelo, os filtros que dizem respeito às piscinas pequenas são mais pequenos que os da piscina grande, contudo não foi possível obter os dados relativos ao diâmetro dos filtros e à altura de leito filtrante de cada um.

O circuito de circulação/recirculação da água na piscina grande é composto por 3 bombas, onde apenas uma funciona 24 horas por dia, outra funciona para apoio e é utilizada quando existe uma maior afluência de utentes (potência nominal de 3 kW) e a terceira encontra-se avariada e tem como objetivo ser utilizada quando alguma das outras avariar. Relativamente ao circuito de circulação/recirculação da água da piscina pequena existem também 3 bombas e, à semelhança da piscina grande, só uma funciona 24 horas por dia, outra existe para apoio (potência nominal de 1,5 kW) e a terceira funciona como apoio em caso de avaria de uma das outras.

3.2 Quantidade e Qualidade da água utilizada

O consumo de água por parte de uma instalação com piscinas não se resume apenas à água gasta nos tanques, mas também à água consumida nos banhos, descargas das sanitas, torneiras dos lavatórios, limpeza das instalações e utilização no bar. No anexo C, encontram-se todos os cálculos efetuados relativamente à quantidade de água utilizada.

De seguida, na Tabela 3.1, estão apresentados os consumos de água por utilizador bem como o consumo final de água. Como se pode observar o edifício em estudo apresenta um consumo mensal de aproximadamente 1010 m³. Neste caso, os tanques de natação são os que mais contribuem para o valor final da fatura da água com 71%.

Tabela 3.1. Consumos mensais de água por utilizador e consumo mensal total

Utilizador	Água consumida (m ³ /mês)	Percentagem (%)
Piscinas	720	71%
Banhos	148	15%
Outros fins	142	14%
Total	1010	100%

A água que circula nos tanques é controlada periodicamente no que diz respeito ao “Plano de monitorização das condições ambientais”. O controlo é feito por parte dos operadores e é realizado três vezes ao dia (manhã, tarde e noite).

As análises efetuadas diariamente a nível interno são aos seguintes parâmetros: cloro (livre + combinado + total), pH e ácido isocianúrico. Para além das análises efetuadas a nível interno também são efetuadas mensalmente 2 recolhas por uma entidade externa, que faz uma análise mais completa aos parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

O tipo de tratamento realizado na água da piscina é floculação, filtração e desinfecção (tipo I). Em relação à desinfecção, esta é realizada através da adição de dicloro e de hipoclorito de sódio. A piscina possui um sistema de doseamento e controlo da adição de hipoclorito de sódio, contudo este encontra-se avariado, sendo a desinfecção realizada manualmente.

4 Análise da Qualidade do Ar Interior

Este capítulo contém todos os resultados referentes às medições dos parâmetros da qualidade do ar interior que foram medidos durante a visita ao edifício, bem como os valores limites estabelecidos por lei. Encontram-se também descritos tópicos como a qualidade e quantidade de água utilizada, circuito de circulação/recirculação da água e caudal de ar novo que o sistema de tratamento de ar debita.

4.1 Qualidade do ar interior

Hoje em dia, a qualidade do ar interior é uma temática cada vez mais importante, uma vez que as pessoas que trabalham em ambientes fechados passam, por norma, cerca de 90% do seu tempo aí dentro. Associados ao ar interior dos edifícios encontram-se alguns problemas de saúde [9], o que torna importante e justifica as inspeções e análises para se avaliar os índices de qualidade do ar no interior dos edifícios.

Para se conseguir manter o ar interior “limpo” deve-se proceder a um controlo dos poluentes. Contudo, este controlo nem sempre se torna possível ou praticável, por isso a maneira mais efetiva para combater este problema é o uso de ventilação, seja esta natural ou mecânica.

No edifício em estudo foram avaliados vários parâmetros, nomeadamente, os valores de dióxido de carbono, monóxido de carbono, humidade relativa, temperatura, partículas, compostos orgânicos voláteis, radão e formaldeído. De seguida serão apresentados os valores obtidos na medição dos componentes.

4.1.1 Zonas de medição

Para a realização das medições dos parâmetros QAI devem ser identificados os locais e pontos de amostragem que se tornem representativos da qualidade do ar interior do edifício. Sendo assim, a estratégia de amostragem deve ser baseada num entendimento compreensivo de como o edifício funciona e a natureza das queixas [10]. Na Figura 4.1 encontra-se uma planta das piscinas onde foram efetuadas as medições dos parâmetros da qualidade do ar interior. Os algarismos representados nas várias divisões do edifício e cuja legenda se encontra do lado direito da figura dizem respeito aos locais onde foram efetuadas as medições dos parâmetros da qualidade do ar interior.

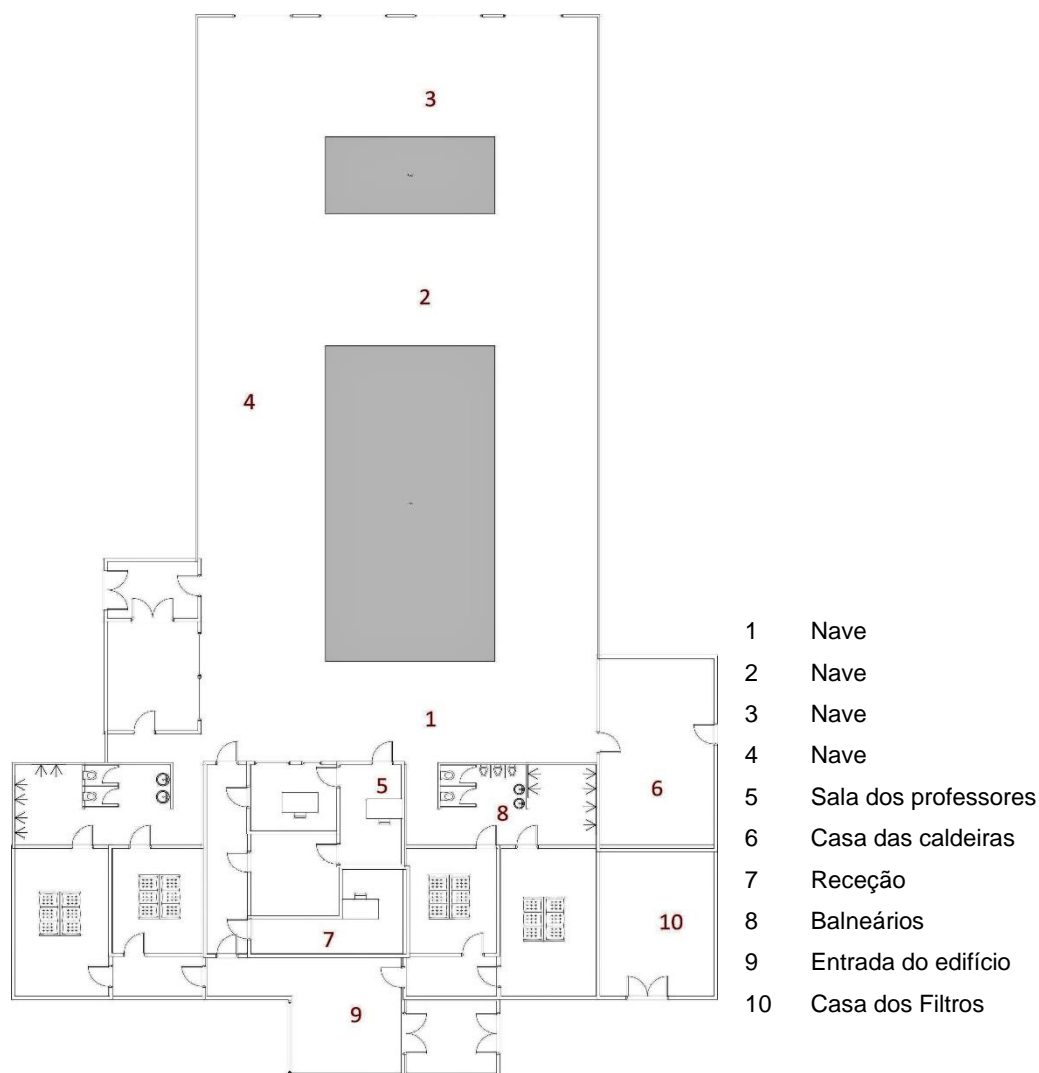


Figura 4.1. Planta das instalações das piscinas

4.1.2 Parâmetros da Qualidade do Ar Interior

Os poluentes do ar interior mais comuns, segundo a Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro, são as partículas suspensas no ar com diâmetro inferior a $10\mu\text{m}$ (PM_{10}), o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO_2), o formaldeído (HCHO), o radão, os compostos orgânicos voláteis (COVs), as bactérias, os fungos e a *legionella*. A temperatura e a humidade relativa não estão presentes na portaria, contudo serão apresentados os valores registados e comparados com os valores recomendados para este tipo de estabelecimento.

Partículas suspensas no ar (PM)

O termo utilizado para as partículas suspensas no ar é matéria particulada (PM). A matéria particulada consiste numa mistura física e química de diferentes compostos que se encontram suspensos no ar (podendo ser sólidos ou líquidos).

A matéria particulada que se encontra no interior dos edifícios é proveniente de fontes interiores e exteriores. As partículas provenientes do exterior, entram para o edifício de várias formas, nomeadamente, infiltração natural, entradas de ar exterior e até mesmo pelo sistema de ventilação mecânico. Além disso, os ocupantes do edifício são também agentes emissores de material particulado quer pela agitação do ar que provocam, quer pela libertação de pequenas partículas do vestuário que usam ou até mesmo pela própria descamação da pele.

A maioria dos efeitos adversos na saúde são provocados pelas partículas PM_{10} (cuja dimensão é inferior a $10\ \mu m$), sendo por isso, a gama de tamanho de partículas entre $0,1$ e $10\ \mu m$ preocupante para a saúde pública. A exposição prolongada a este tipo de partículas contribui para o risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares e respiratórias, podendo originar em casos extremos cancro [11]. Na Figura 4.2 encontram-se representados os valores de matéria particulada lidos nos vários locais do edifício. Para a leitura dos valores de PM_{10} foi utilizado o equipamento *Lighthouse* da marca *handheld 3016-IAQ combo*.

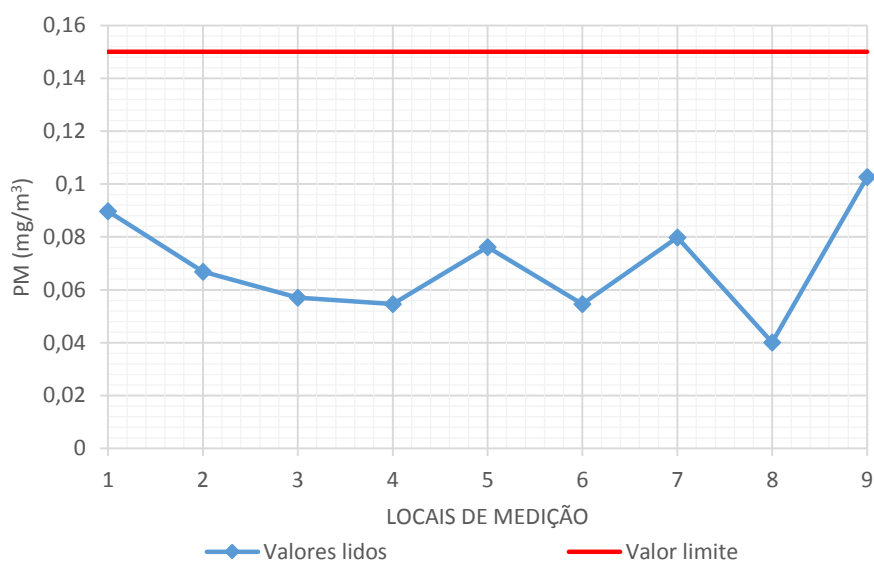


Figura 4.2. Valores de matéria particulada registados nas medições

Como se pode verificar pela análise da Figura 4.2, todos os locais de medição dos parâmetros QAI encontram-se abaixo do limite máximo estabelecido por lei.

Monóxido de carbono

O monóxido de carbono é um gás impercetível quer ao nível visual, quer ao nível de sabor e cheiro e é resultado de uma combustão incompleta. Uma vez que se trata de um gás inodoro, incolor e não irritante pode conduzir facilmente à asfixia das pessoas

expostas sem que estas se apercebiam do que está a ocorrer. Normalmente existe um curto período de tempo antes do aparecimento de sintomas, sintomas estes que inibem a capacidade de procura de auxílio ou de alcançar segurança. [10]

No interior dos edifícios a sua presença é essencialmente devido a contaminação exterior, mas também pode ser devido à existência de fontes de combustão no interior do edifício. Na Figura 4.3 encontram-se os valores de monóxido de carbono que foram registados nos vários pontos do edifício. Para a leitura dos valores de CO, CO₂, Temperatura, Humidade Relativa e COVs foi utilizada uma sonda multiparamétrica da marca *Graywolf*, modelo *IQ 610*.

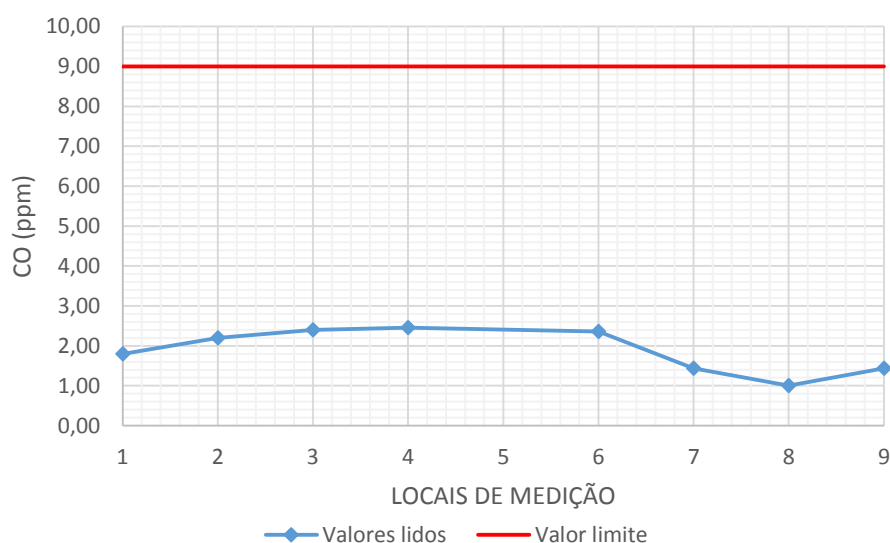


Figura 4.3. Valores de monóxido de carbono registados nas medições

Ao analisar o gráfico da Figura 4.3 pode-se verificar que todos os valores lidos nos diversos locais do edifício se encontram dentro do valor limite estabelecido por lei.

Dióxido de carbono

O dióxido de carbono é um gás que não apresenta cor nem odor. Em determinadas circunstâncias pode oferecer uma indicação da taxa de ventilação do edifício. Nos ambientes interiores é produzido essencialmente pelo metabolismo humano, onde a taxa de exalação é cerca de 0,3L/min (quando as tarefas executadas são leves).

As concentrações de dióxido de carbono no interior dos edifícios não são constantes ao longo do dia e variam de acordo com o local. Habitualmente os níveis de CO₂ variam entre os 600 e os 800 ppm. A taxa mínima de ventilação recomendada num edifício é cerca de 10 L/s por pessoa, deste modo é assegurada uma boa qualidade de ar interior no local de trabalho. [10]

Na Figura 4.4 são apresentados os valores de dióxido de carbono que foram medidos nos vários locais do edifício.

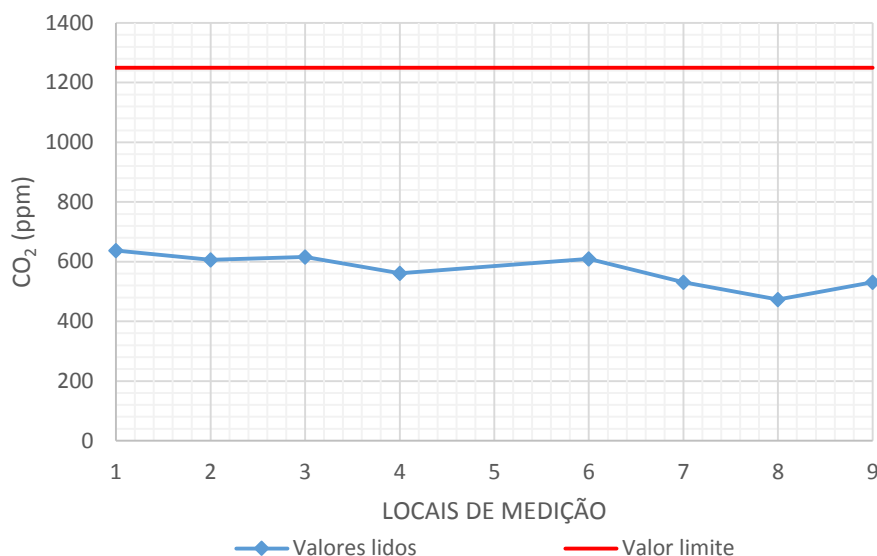


Figura 4.4. Valores de dióxido de carbono registados nas medições

Como se pode visualizar pela análise da Figura 4.4 os valores de dióxido de carbono registados nos vários locais do edifício em estudo encontram-se dentro dos limites estabelecidos por lei.

Formaldeído

O formaldeído é um dos poluentes mais comuns nos vários tipos de ambiente interior. Pertence ao grupo dos compostos orgânicos voláteis, mas uma vez que tem relativa importância é caracterizado à parte, recorrendo-se a técnicas de amostragem específicas. Quando se encontra à temperatura ambiente trata-se de um gás incolor, com odor forte e é influenciado quimicamente com alterações da temperatura e humidade.

A principal origem de emissão interna do formaldeído prende-se com a utilização de resinas e produtos construídos com aglomerados de madeira, sendo também utilizado nos produtos de limpeza, bem como isolantes e adesivos, entre outros [10]. Na Figura 4.5 encontram-se os valores de formaldeído registados durante as medições nos diversos locais do edifício. Para a realização da medição do formaldeído foi utilizado o equipamento *Formaldemeter*, modelo *HTV-M Kit* da marca *PPM Technology*.

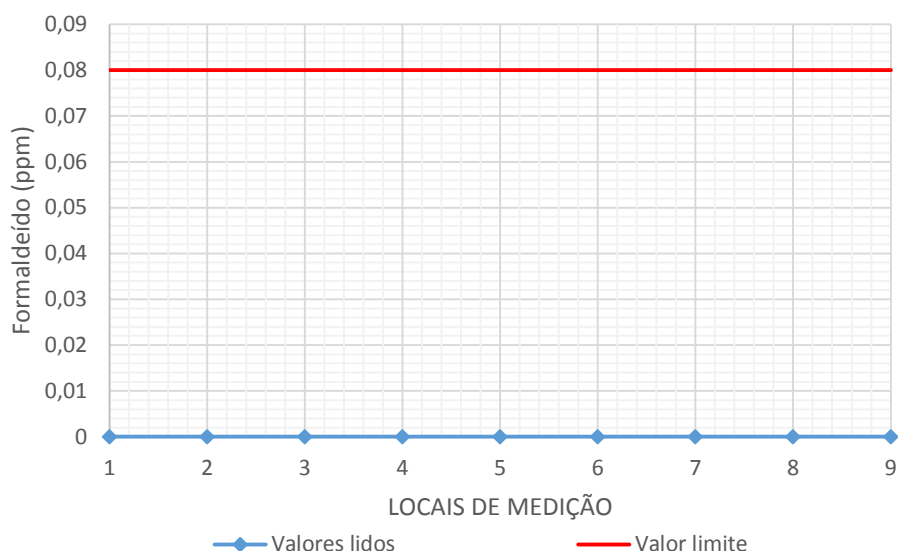


Figura 4.5. Valores de formaldeído registados nas medições

Pela análise da Figura 4.5 verifica-se que os valores de formaldeído registados nos diversos locais do edifício se encontram todos abaixo do limite máximo estabelecido por lei.

Radão

O radão é uma substância gasosa radioativa incolor e inodora que ocorre naturalmente através do decaimento radioativo do urânio. É uma matéria cancerígena que se pode encontrar no ar interior e surgiu como problema de saúde pública nos anos 80. Este gás forma-se no seio das rochas e materiais de construção por desintegração do isótopo de urânio (^{238}U). A sua desintegração origina vários elementos nomeadamente o tório 230, o rádio 226 e o radão (^{222}Rn). Os isótopos do radão geralmente apresentam um curto período de tempo de atividade variando de alguns minutos a algumas horas, contudo o ^{222}Rn tem uma duração ativa de cerca de 3,82 dias.

O radão afeta o ser humano ao nível celular, em especial o aparelho respiratório. A sua contaminação efetua-se através da inspiração do ar e/ou pela ingestão de água (o radão é solúvel na água). A probabilidade de exposição a este composto varia consoante a região do país, uma vez que, em Portugal, o urânio nas rochas e no solo não se encontra uniformemente distribuído. As zonas que possuem rochas graníticas são as mais propícias a concentrações elevadas de radão, por outro lado as zonas com rochas sedimentares apresentam concentrações de radão muito mais reduzidas. Posto isto a legislação portuguesa torna obrigatória a medição dos valores de radão nas zonas do país onde as rochas graníticas são abundantes, nomeadamente nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco. [10]

Na Figura 4.6 encontram-se os valores de radão registados no local onde o estudo foi efetuado. Uma vez que o radão se encontra muitas vezes no solo a medição foi realizada na sala dos filtros na parte mais baixa e com menos arejamento. Para a medição dos valores de radão foi utilizado o equipamento da marca SARAD e modelo *Radon Scout Plus*.

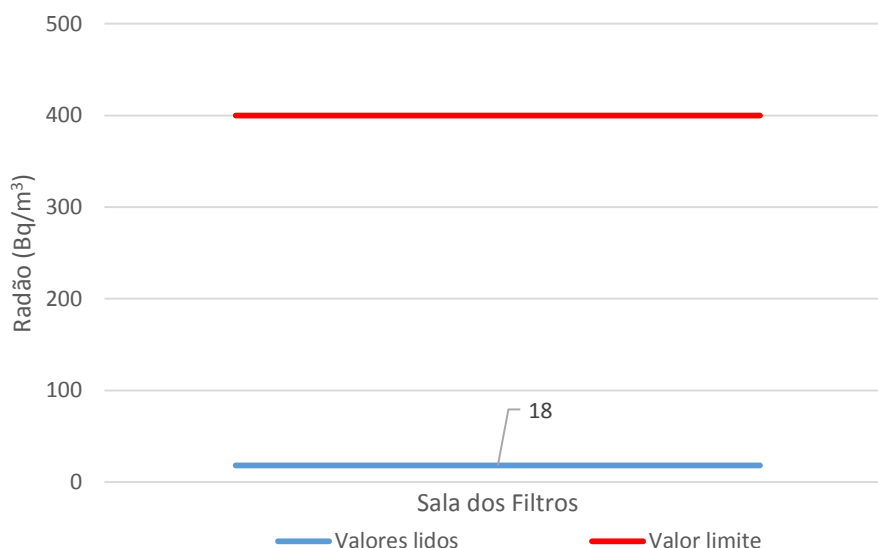


Figura 4.6. Valores de radão obtidos na medição

Como se pode verificar pela análise da Figura 4.6 os valores de radão que foram registados encontram-se abaixo do limite máximo estabelecido por lei.

Compostos orgânicos voláteis (COVs)

Os compostos orgânicos voláteis têm vindo a ser objeto de estudo particular pelas concentrações que vêm a apresentar no interior dos edifícios [10]. Os COVs são considerados poluentes perigosos, sendo que alguns deles são tóxicos e cancerígenos. Posto isto, a sua inalação pode produzir efeitos adversos e diretos na saúde humana, principalmente se estiver exposto a concentrações elevadas e por um longo período de tempo. [12]

Para efetuar a medição dos compostos orgânicos voláteis foi utilizada uma sonda multiparamétrica da marca *Graywolf*, modelo *IQ 610*. Na Figura 4.7 encontram-se os valores de concentração de COVs obtidos nas medições nos vários pontos do edifício.

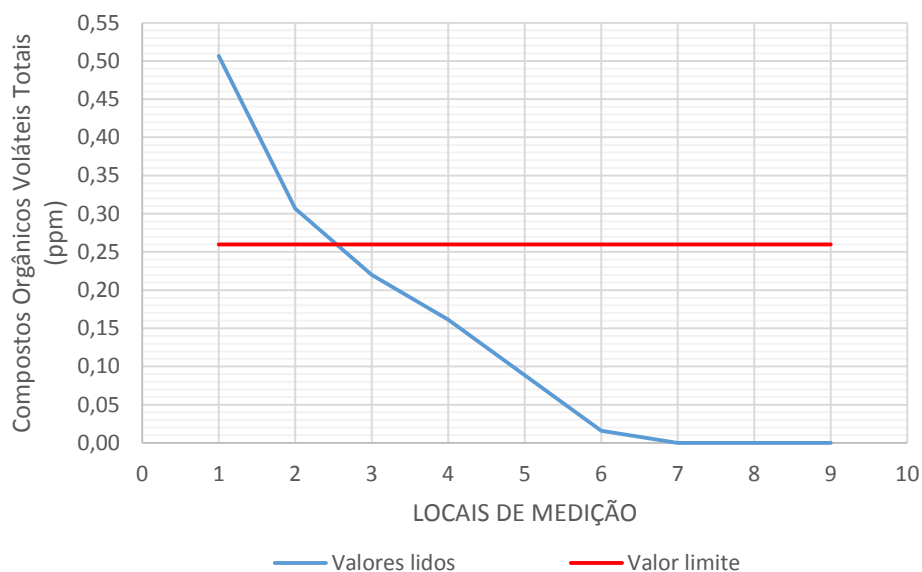


Figura 4.7. Valores de COVs obtidos na medição

Ao analisar a Figura 4.7 pode-se verificar que em dois pontos da medição o limite máximo da concentração de COVs permitido por lei é ultrapassado. Estes dois pontos dizem respeito à nave como se pode visualizar na Figura 4.1. Segundo a Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de dezembro, para os COVs totais, se as concentrações medidas forem superiores aos limiares de proteção, a verificação deve ser realizada com base na avaliação dos compostos listados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Limiares de proteção para compostos orgânicos voláteis específicos a considerar na verificação da conformidade dos COVs [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Poluentes	Limiar de proteção [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Benzeno	5
Tricloroetileno	25
Tolueno	250
Estireno	260
Tetracloroetileno	250

Esta verificação não foi efetuada, contudo deveria ser realizado um estudo pormenorizado em relação a estes parâmetros para se verificar qual a causa desta contaminação.

Temperatura

A temperatura não faz parte dos parâmetros da qualidade do ar interior presentes na Portaria n.º 353-A/2013, contudo esta deve apresentar valores que promovam o bem-estar dos ocupantes do espaço. Embora a diretiva 23/93 CNQ apenas contenha uma de recomendação, os valores medidos foram comparados e encontram-se na Figura 4.8.

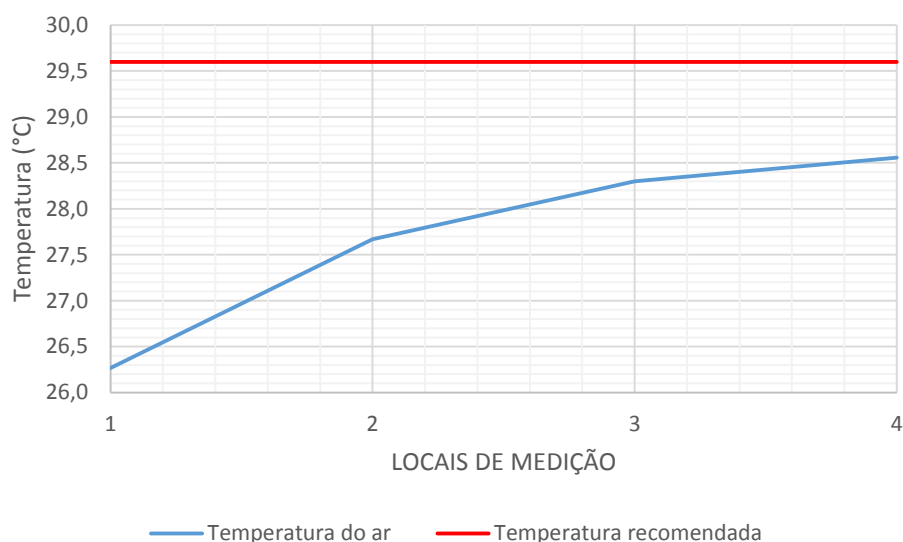


Figura 4.8. Valores de temperatura obtidos na medição da zona da nave

Os pontos de medição representados no gráfico dizem respeito às temperaturas registadas nos diferentes pontos de medição da nave. A recomendação da temperatura pela diretiva 23/93 CNQ é que esta deve ser superior ou igual à da água do tanque com a temperatura mais baixa, que no caso de estudo é de 29,6 °C.

Como se pode verificar pela análise da Figura 4.8, os valores de temperatura registados encontram-se abaixo do mínimo recomendado. Este facto leva que as perdas de calor por evaporação sejam maiores.

De seguida encontram-se os valores de temperatura registados nos outros locais do edifício. Como se pode observar pela análise da Figura 4.9, os valores de temperatura registados nas várias salas do edifício encontram-se acima do valor mínimo de temperatura recomendado pela diretiva 23/93 CNQ.

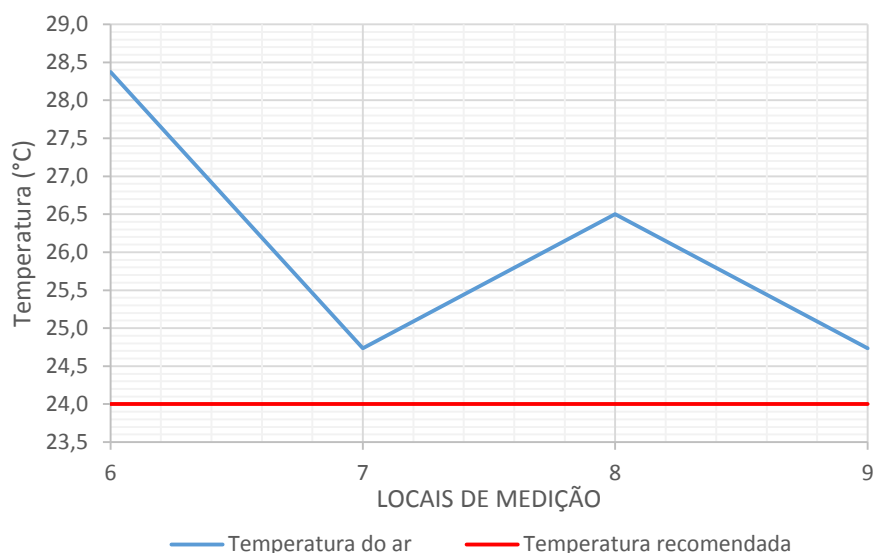


Figura 4.9. Valores de temperatura obtidos na medição das várias salas do edifício

Humidade relativa

À semelhança da temperatura, a humidade relativa não faz parte dos parâmetros da qualidade do ar interior presentes na Portaria n.º 353-A/2013, contudo esta deve apresentar valores que promovam o bem-estar dos ocupantes do espaço, tendo em conta a diretiva 23/93 CNQ.

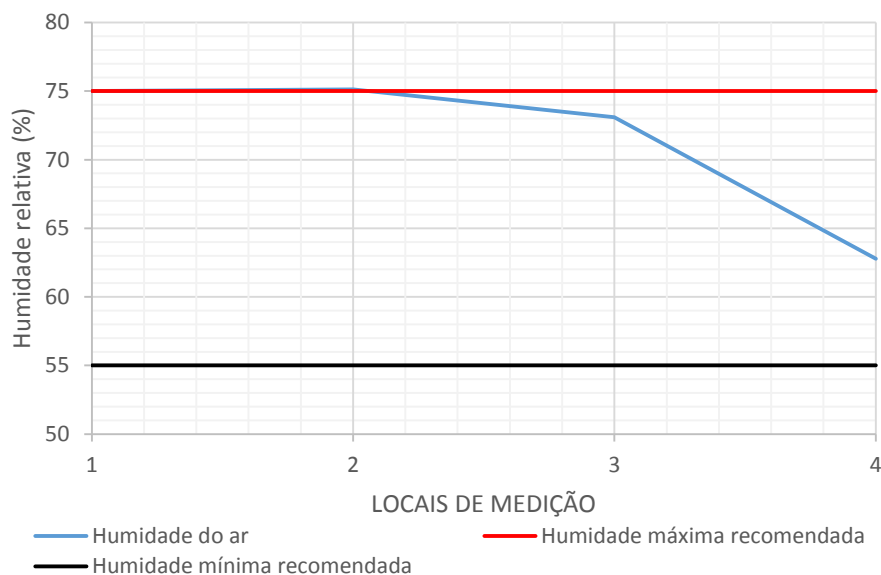


Figura 4.10. Valores de humidade relativa registados na nave

Pela análise da Figura 4.10, é possível verificar que os valores registados nas medições dos vários pontos da nave se encontram dentro dos limites recomendados.

Seguidamente são apresentados os valores de humidade relativa das várias salas do edifício.

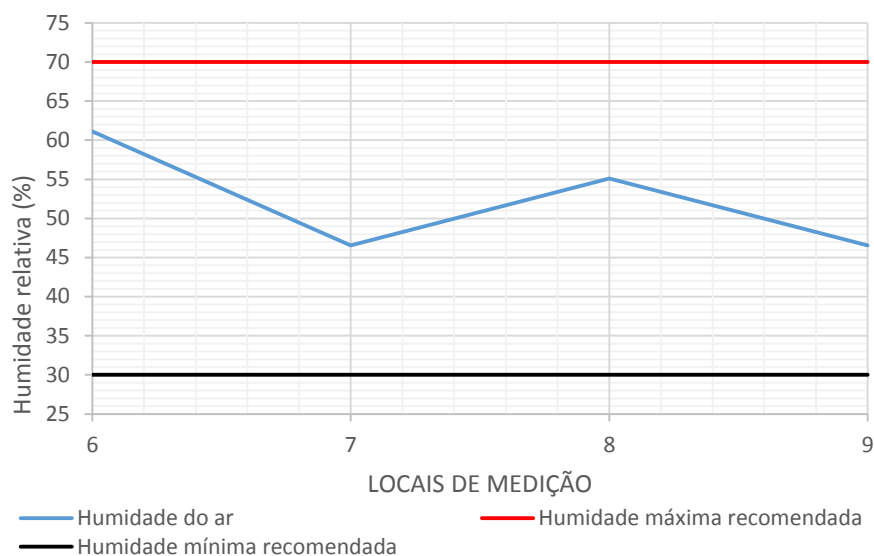


Figura 4.11. Valores de humidade relativa registados nas várias salas do edifício

Como se pode verificar pela análise da Figura 4.11 os valores de humidade relativa registados nas diferentes salas do edifício encontram-se dentro dos valores recomendados.

4.1.3 Caudal de ar novo

Segundo a Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro, para assegurar os valores de caudal mínimo de ar novo previstos no regulamento de desempenho energético dos edifícios (RECS), os edifícios de comércio e serviços devem ser dotados de soluções para ventilação por meios naturais, meios mecânicos ou uma combinação de ambos, as quais devem respeitar um conjunto de critérios que se encontram na referida Portaria.

O edifício em estudo apresenta ventilação mecânica. A ventilação com recurso a meios mecânicos tem como base a utilização de sistemas e equipamentos que promovam a renovação do ar interior através da extração do ar do espaço e insuflação de ar tratado numa mistura com ar novo vindo do exterior, Figura 4.12.

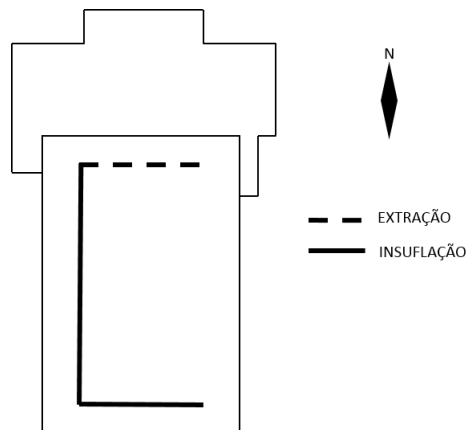


Figura 4.12. Esquema simplificado da localização da insuflação e extração

Este tipo de ventilação deve garantir uma distribuição homogênea do ar novo em toda a zona ocupada do espaço, bem como a existência de sistemas de ventilação apropriados para a renovação do ar interior que garantam o caudal mínimo de ar novo de acordo com o previsto no RECS, considerando a eficácia de remoção de poluentes garantida por esse sistema na zona ocupada.

O caudal mínimo de ar novo a considerar para um espaço pode ser determinado por dois métodos, sendo estes o método analítico e o método prescritivo. O método utilizado foi o método prescritivo uma vez que não haviam dados suficientes para o cálculo pelo método analítico.

O método prescritivo baseia-se na determinação dos caudais de ar novo que garantem a diluição da carga poluente devido a dois pontos. O primeiro ponto diz respeito aos ocupantes do espaço em função do tipo de atividade física (atividade metabólica) aí desenvolvida e o segundo ponto diz respeito ao próprio edifício em função do tipo de materiais usados na construção, nos revestimentos das superfícies e no mobiliário.

Posto isto o caudal mínimo de ar novo a considerar por aplicação deste método é o maior dos valores determinados para os dois pontos acima referidos.

Diluição da carga poluente devida aos ocupantes do espaço

Os valores de caudal mínimo de ar novo para diluição da carga poluente devida aos ocupantes variam consoante o tipo de atividade e a taxa de metabolismo dos ocupantes como se pode observar na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. Caudal mínimo de ar novo determinado em função da carga poluente devida à ocupação [13]

Tipo de atividade	Taxa de metabolismo dos ocupantes – M (met)	Exemplos de tipo de espaço	Caudal de ar novo [m ³ /(hora.pessoa)]
Sono	0,8	Quartos, Dormitórios e similares	16
Descanso	1	Salas de repouso, Salas de espera, Salas de conferências, Auditórios e similares, Bibliotecas.	20
Sedentária	1,2	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convívio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	24
		Salas de jardim-de-infância e pré-escolar e Salas de creche.	28
Moderada	1,75 (1,4 a 2,0)	Laboratórios, <i>Ateliers</i> , Salas de Desenho e Trabalhos Oficiais, Cafés, Bares, Salas de Jogos e similares.	35
Ligeiramente alta	2,5 (2,0 a 3,0)	Pistas de dança, Salas em ginásios, Salas de ballet e similares.	49
Alta	5,0 (3,0 a 9,0)	Salas de musculação, Salas em ginásios e pavilhões desportivos e similares.	98

Pela análise da Tabela 4.2, constatou-se que o tipo de atividade que se realiza no edifício em estudo é Alta e por isso o caudal mínimo é de 98 m³/(hora.pessoa). Uma vez que a ocupação diária do edifício é de cerca de 150 utentes, considerou-se que a sua ocupação horaria era cerca de 15 utentes e sendo assim o caudal mínimo é de 1470 m³/h.

Diluição da carga poluente devida aos materiais do edifício e utilização

No caso das piscinas, o caudal mínimo de ar novo deverá ser calculado com base no valor de $20 \text{ m}^3/(\text{hora}.\text{m}^2)$, em que a área de referência será a área do plano de água. A área do plano de água é de $313,6 \text{ m}^2$ (piscina grande + piscina pequena), sendo assim o caudal mínimo de ar novo é de $6272 \text{ m}^3/\text{h}$.

Como já foi referido, o valor do caudal mínimo é o maior valor entre os dois pontos calculados anteriormente, sendo assim o valor mínimo para o caudal de ar novo é $6272 \text{ m}^3/\text{h}$.

Uma vez conhecido o valor mínimo de caudal de ar novo estipulado para o edifício em estudo segundo a Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro, procedeu-se ao cálculo do valor efetivamente debitado. Devido à inexistência de um medidor do caudal de ar no local, o caudal foi calculado através do produto da velocidade do ar (medida com um anemómetro) com a área de secção reta da tubagem de extração do ar ambiente. Sendo assim o valor de caudal obtido foi:

$$Q_{AR} = v \times A \quad (5.4)$$

$$Q_{AR} = 2,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,72 \text{ m}^2$$

$$Q_{AR} = 5940 \text{ m}^3/\text{h}$$

O valor de caudal obtido diz respeito a 50% da capacidade da Unidade de Tratamento de Ar (designada por UTA 2, que será explicada no capítulo seguinte). Quando esta funciona no seu débito máximo o caudal de ar é de $11880 \text{ m}^3/\text{h}$. Como se pode verificar, apenas quando a UTA 2 está a debitar 100% da sua capacidade é que respeita o valor mínimo do caudal de ar novo que deve ser introduzido no edifício.

5 Consumos energéticos

Neste capítulo estão expostos os consumos energéticos do edifício, nomeadamente, o aquecimento das águas (AQS e piscinas), as perdas energéticas, os consumos de gás natural por parte das caldeiras e os consumos elétricos descriminados por utilizador. Este capítulo contém também a classificação energética do edifício, onde se encontra a simulação dinâmica, a construção do modelo computacional, a simulação real e o cálculo dinâmico simplificado. Estão também expostos os valores dos indicadores de eficiência energética.

5.1 Produção de energia térmica

A produção de energia térmica é realizada por duas caldeiras que funcionam com um circuito fechado de água. Ambas as caldeiras funcionam a gás natural e são da marca *Ferrolli*, e os modelos são *Prextherm* 250 e *Prextherm* 150, que corresponde a uma potência térmica de 250 kW e 150 kW, respetivamente. A temperatura da água à saída da caldeira é de aproximadamente 70°C.

As caldeiras são responsáveis pelo fornecimento de calor aos diversos permutadores, nomeadamente, ao permutador de calor para aquecimento de água quente sanitária, aquecimento das águas do tanque grande e pequeno e aos sistemas de aquecimento das unidades de tratamentos do ar (UTA1 e UTA2). Na Figura 5.1 encontra-se um esquema simplificado da distribuição de calor produzido pelas caldeiras.

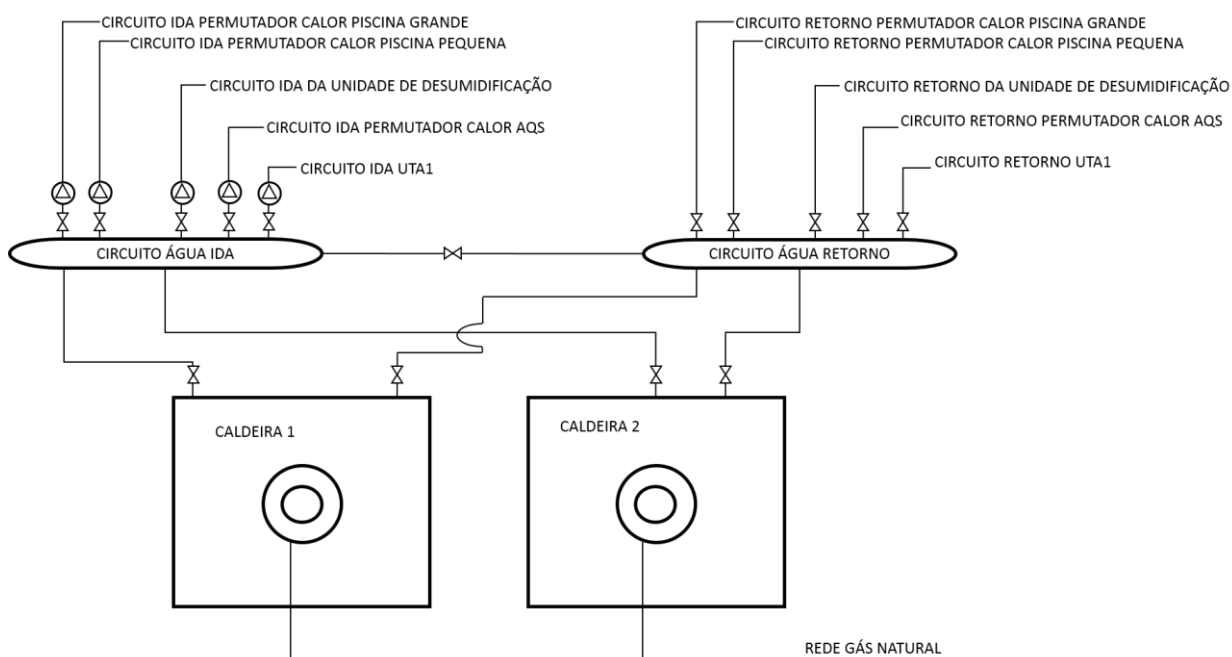


Figura 5.1. Esquema simplificado do uso da fonte de produção de calor

5.2 Aquecimento da água

À semelhança do consumo de água, também a energia elétrica consumida para o aquecimento da água é diferente quando se trata da água quente sanitária ou da água que é fornecida aos tanques de natação. De seguida serão apresentados os consumos elétricos para os dois fins.

Aquecimento da água quente sanitária

O aquecimento da água quente sanitária é realizado por um permutador de calor do tipo de placas da marca *Framar*, com 39 placas. Este permutador tem como função o pré-aquecimento da água quente sanitária. Após a passagem da água pelo permutador de calor, esta segue para um termoacumulador (marca SICC, tipo *Accumulatore D'Acqua Calda*, capacidade 2000 L), onde é aquecida até uma temperatura de aproximadamente 48°C e fica aí reservada até ser solicitada.

Apesar de a água sair do termoacumulador a 48°C a sua temperatura à saída dos chuveiros é de 38°C, satisfazendo assim a recomendação por parte da diretiva CNQ 23/93, cujo intervalo recomendado se situa entre os 38 e os 40°C.

Para o cálculo da potência necessária (P em kW) considerou-se que a água da rede se encontra a uma temperatura de 15°C e será aquecida até à temperatura de 48°C.

A potência necessária é calculada pela seguinte expressão:

$$P = m \times c_p \times \Delta T \quad (5.1)$$

Onde:

P – Potência necessária, kW;

m – Caudal mássico de água, kg/s (ver cálculo de valor em Anexo C);

c_p – Potência calorífica da água, kJ/(kg.°C);

ΔT – Diferença de temperatura, °C.

Posto isto, tem-se que:

$$P = 0,057 \times 4,18 \times (48 - 15)$$

$$P = 7,86 \text{ kW}$$

A potência necessária para o aquecimento das águas quentes sanitárias é de 7,86 kW.

Aquecimento da água dos tanques de natação

O aquecimento da água dos tanques é realizado por 2 permutadores de calor. Um dos permutadores (marca *Cipriani - HiperClima*) é para efetuar o aquecimento da água da piscina grande e o outro (marca *Framar*) é para o aquecimento da piscina pequena.

A temperatura média apresentada para cada uma das piscinas é de 29,6°C, para a piscina grande, e 31,5°C, para a piscina pequena. Segundo a Diretiva CNQ 23/93, os tanques desportivos devem apresentar uma temperatura entre os 24 e os 26°C e os tanques infantis ou chapinheiros devem-se situar entre os 28° e os 30°C. Como se verifica as temperaturas reais em ambos os tanques encontram-se ligeiramente acima do valor recomendado.

A potência necessária para cada um dos permutadores de calor pode ser obtida pela seguinte expressão 5.2 [14]:

$$P_p = 1,16 \times \frac{V}{t} \times \Delta T \quad (5.2)$$

Em que:

V - Volume do tanque, m³;

t – Tempo de aquecimento da piscina, considerou-se que no arranque a piscina demora 48h;

ΔT – Diferença entre a temperatura final da água e a temperatura inicial (15°C).

Posto isto tem-se:

Piscina grande

$$P_p = 1,16 \times \frac{433}{48} \times (29,6 - 15)$$

$$P_p = 152,78 \text{ kW}$$

Piscina pequena

$$P_p = 1,16 \times \frac{75}{48} \times (31,5 - 15)$$

$$P_p = 29,9 \text{ kW}$$

Sendo assim as potências necessárias para efetuar o aquecimento das piscinas grande e pequena são, respetivamente, 152,78 e 29,9 kW, para quando é aquecida a primeira vez.

5.3 Perdas energéticas

As perdas energéticas nas piscinas podem ser divididas em três partes: perdas por convecção, perdas por evaporação e perdas por renovação da água. [15] De seguida serão apresentadas as perdas energéticas associadas às piscinas em estudo.

Perdas caloríficas por evaporação da água

Para a determinação da quantidade de água evaporada (m_E) utilizou-se a seguinte equação 5.3 [14]:

$$m_E = (0,0070 + 0,0053 \times v) \times S_p \times (Y_p - Y_n) \times F_A \quad (5.3)$$

Onde:

v - Velocidade de ar junto do plano de água em m/s;

S_p – Área do plano de água, m^2 ;

Y_p e Y_n - Humidade absolutas do ar saturado à temperatura da água do tanque e do ar da nave, respetivamente, kg vapor/kg ar seco, no Anexo D encontra-se a carta psicrométrica como os valores;

F_A - Fator que depende da frequência de banhistas e do tipo de piscina e que assumirá um valor de 1,06 valor, este usado para a maioria das piscinas de uso público.

Sendo assim tem-se:

Piscina grande

$$v = 0,1 \text{ m/s}$$

$$S_p = 255 \text{ m}^2$$

$$Y_p = 0,0265 \text{ kg vapor/kg ar seco}$$

$$Y_n = 0,0174 \text{ kg vapor/kg ar seco}$$

$$\begin{aligned} m_E &= (0,0070 + 0,0053 \times 0,1) \times 255 \\ &\quad \times (0,0265 - 0,0174) \\ &\quad \times 1,06 \end{aligned}$$

$$m_E = 0,0185 \text{ kg/s}$$

Piscina pequena

$$v = 0,1 \text{ m/s}$$

$$S_p = 60,6 \text{ m}^2$$

$$Y_p = 0,0295 \text{ kg vapor/kg ar seco}$$

$$Y_n = 0,0174 \text{ kg vapor/kg ar seco}$$

$$\begin{aligned} m_E &= (0,0070 + 0,0053 \times 0,1) \times 60,6 \\ &\quad \times (0,0295 - 0,0174) \\ &\quad \times 1,06 \end{aligned}$$

$$m_E = 0,0058 \text{ kg/s}$$

A quantidade de água evaporada correspondente à potência, P_E , que é obtida pela expressão que se segue:

$$P_E = m_E \times \lambda \quad (5.4)$$

Em que λ corresponde ao calor latente de vaporização em kJ/kg.

Sendo assim tem-se:

Piscina grande

$$\lambda = 2430,83 \text{ kJ/kg}$$

$$P_E = 0,0185 \times 2430,83$$

$$P_E = 45,02 \text{ kW}$$

Piscina pequena

$$\lambda = 2426,28 \text{ kJ/kg}$$

$$P_E = 0,0058 \times 2426,28$$

$$P_E = 14,07 \text{ kW}$$

As perdas caloríficas por evaporação tomam um valor total de 59,09 kW.

Perdas ou ganhos de calor por convecção

Para o cálculo da potência equivalente às perdas ou ganhos por convecção utiliza-se a seguinte expressão:

$$P_c = S_p \times K_C \times (\theta_n - \theta_p) \quad (5.5)$$

Onde:

K_C – Coeficiente médio de transferência de calor, assume-se como sendo 6,0 W/(m².K) [14];

θ_n – Temperatura do ar da nave, °C;

θ_p – Temperatura da água, °C.

Se $\theta_n > \theta_p$, o ar da nave cederá calor à piscina, caso contrário, será o ar a receber calor vindo da piscina.

Sendo assim obtém-se:

Piscina grande

$$\theta_n = 28,5^\circ\text{C}$$

$$\theta_p = 29,6^\circ\text{C}$$

$$P_C = 255 \times 6 \times 10^{-3} \times (28,5 - 29,6)$$

$$P_C = -1,68 \text{ kW}$$

Piscina pequena

$$\theta_n = 28,5^\circ\text{C}$$

$$\theta_p = 31,5^\circ\text{C}$$

$$P_C = 60,6 \times 6 \times 10^{-3} \times (28,5 - 31,5)$$

$$P_C = -1,09 \text{ kW}$$

O valor das perdas por convecção é de 2,77 kW. Como a temperatura da água das piscinas é superior à temperatura do ar da nave existe a cedência de calor das piscinas para o ar.

Perdas de calor por renovação da água

A renovação da água das piscinas é um fator importante para manter a sua qualidade. A água que será introduzida deve ser aquecida até à temperatura da água do tanque de natação, esse aquecimento tem custos energéticos associados.

Atendendo ao caso em estudo, a potência necessária para o aquecimento da água de compensação é obtida pela seguinte expressão:

$$P_{RA} = m_C \times 4,18 \times (\theta_p - \theta_r) \quad (5.6)$$

O m_C corresponde ao caudal de água de compensação em kg/s e o θ_r corresponde à temperatura da água da rede.

A potência consumida pela renovação da água é então:

Piscina grande

$$P_{RA} = 0,25 \times 4,18 \times (29,6 - 15)$$

$$P_{RA} = 15,26 \text{ kW}$$

Piscina pequena

$$P_{RA} = 0,023 \times 4,18 \times (31,5 - 15)$$

$$P_{RA} = 1,57 \text{ kW}$$

As perdas correspondentes à renovação da água são de 16,84 kW.

Perdas caloríficas por radiação na superfície da água

A radiação térmica ocorre quando a transmissão de calor é efetuada entre dois corpos com diferentes temperaturas sem a existência de um meio físico entre eles. No caso em estudo o plano de água da piscina transmite/recebe calor por radiação para/da superfície do teto.

A potência equivalente às perdas por radiação é dada pela seguinte expressão:

$$P_R = S_p \times \sigma_m \times \left[(273 + \theta_p)^4 - (273 + \theta_t)^4 \right] \times 10^{-3} \quad (5.7)$$

Em que:

$$\sigma_m = \sigma \times \left(\frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_t} - 1} \right) \quad (5.8)$$

Onde:

σ – Constante de *Stefan-Boltzmann*, $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;

ε_p e ε_t – Coeficientes de absorção das superfícies do plano de água e do teto da nave, assume-se que ambos têm valores de 0,93 [14];

θ_t – Temperatura da superfície do teto, °C.

A temperatura do teto não é conhecida, sendo assim torna-se importante determinar a temperatura para ser possível a determinação da potencia perdida por radiação. Para isso admitiu-se que o fluxo de calor na camada de ar junto à superfície do teto é igual ao fluxo de calor através da cobertura:

$$k_t \times (\theta_t - \theta_a) = h_i \times (\theta_n - \theta_t) \quad (5.9)$$

Em que:

k_t – Coeficiente de transferência de calor através da cobertura, $6,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ [16];

θ_a – Temperatura da face exterior da cobertura, aproximadamente igual à temperatura do ar exterior, 14°C (temperatura média anual da cidade);

h_i – Coeficiente de convecção na camada de ar da nave junto à superfície do teto, $4,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ [14].

Sendo assim:

$$6,6 \times (\theta_t - 14) = 4 \times (28,5 - \theta_t)$$

$$\theta_t = 19,5^\circ\text{C}$$

Uma vez conhecida a temperatura da superfície do teto procedeu-se ao cálculo das perdas por radiação para ambas as piscinas.

Piscina grande

$$P_R = 255 \times 4,93 \times 10^{-8} \\ \times [(273 + 29,6)^4 \\ - (273 + 19,5)^4] \times 10^{-3}$$

$$P_R = 13,4 \text{ kW}$$

Piscina pequena

$$P_R = 60,6 \times 4,93 \times 10^{-8} \\ \times [(273 + 31,5)^4 \\ - (273 + 19,5)^4] \times 10^{-3}$$

$$P_R = 3,82 \text{ kW}$$

As perdas caloríficas por radiação da superfície de água são de 17,19 kW.

Perdas caloríficas totais das piscinas

As perdas totais das piscinas são obtidas pelo somatório de todas as perdas calculadas anteriormente. Sendo assim as perdas totais são:

$$P_T = P_E + P_C + P_{RA} + P_R$$

$$P_T = 59,09 + 2,77 + 16,84 + 17,19$$

$$P_T = 95,89 \text{ kW}$$

Sendo assim as perdas totais das piscinas correspondem a 95,89 kW.

Na Figura 5.2 encontra-se um gráfico com os pesos das respectivas perdas.

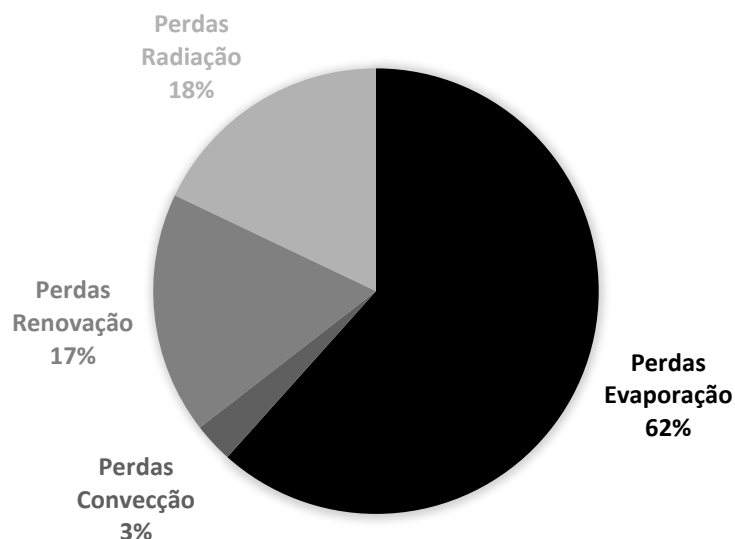


Figura 5.2. Percentagem de cada tipo de perda

Como se pode verificar pela análise da Figura 5.2 são as perdas por evaporação as que mais contribuem para o valor final de perdas uma vez que apresentam um valor de 62%

das perdas totais. As perdas por radiação também apresentam algum peso uma vez que correspondem a 18% das perdas totais.

5.4 Consumo de gás pelas caldeiras

Uma vez que o edifício não possui um contador que indique apenas o gás que é consumido para aquecimento das piscinas e zona da nave, o valor de consumo de gás utilizado é o que diz respeito ao edifício global.

O caudal de gás natural é de 14,48 m³/h o que representa um consumo diário de 347,5 m³ e um consumo mensal de 10425,6 m³.

Sendo assim a potência necessária para as caldeiras fornecerem é obtida pela equação:

$$P_{\text{Caldeira}} = Q_{\text{gás}} \times \text{PCI} \quad (5.10)$$

Em que:

$Q_{\text{gás}}$ – Volume de gás que é consumido, m³;

PCI – Poder calorífico inferior do gás natural, 9054 kcal/m³.

Substituindo os valores na equação 6.9 tem-se:

$$P_{\text{Caldeira}} = 347,5 \times 9054$$

$$P_{\text{Caldeira}} = 3146265 \text{ kcal} = 3659 \text{ kWh}$$

A potência total necessária da caldeira para o fornecimento de calor à piscina é de 3659 kWh diários, o que resulta em 1317240 kWh anuais.

5.5 Consumos elétricos

Neste subcapítulo serão apresentados os consumos elétricos da instalação, nomeadamente os consumos por parte da iluminação, das bombas de circulação e da unidade de tratamento de ar. O cálculo dos consumos de eletricidade tem como base a seguinte equação:

$$E = n \times P_D \times t \quad (5.11)$$

Onde:

E – Energia total consumida, kWh;

n – Número dos dispositivos;

P_D – Potência dos dispositivos, kW;

t – tempo de funcionamento dos dispositivos.

Iluminação

Para traçar uma estimativa do consumo elétrico no que diz respeito à iluminação foi necessário um registo local de todas as fontes de iluminação artificial, bem como algumas conversas com os trabalhadores para ter uma noção do tempo de utilização da iluminação em cada espaço.

Na Tabela 5.1 encontram-se os consumos energéticos por espaço, bem como a energia total consumida no que diz respeito à iluminação.

Tabela 5.1. Consumos elétricos por espaço

Lâmpadas					
Local	Número	Características	P (kW)	t (h)	E (kWh)
Hall de entrada	5	58 W 1,5 m	0,058	3	0,87
Corredor	2	58 W 1,5 m	0,058	4	0,464
Balneários dos colaboradores	2	58 W 1,5 m	0,058	1	0,116
Receção	3	58 W 1,5 m	0,058	3	0,522
Sala dos professores	2	58 W 1,5 m	0,058	4	0,464
	2	58 W 1,5 m	0,058	4	0,464
Nave	13	58 W 1,5 m	0,058	4	3,016
	10	300 W	0,3	1	3
Casa dos filtros	3	58 W 1,5 m	0,058	0,5	0,087
Casa das caldeiras	3	58 W 1,5 m	0,058	0,5	0,087
Balneários femininos	13	58 W 1,5 m	0,058	4	3,016
Balneários masculinos	13	58 W 1,5 m	0,058	4	3,016
E consumida diariamente					15,12

Como se pode verificar pela análise da Tabela 5.1 o consumo diário por parte da iluminação é de cerca de 15,12 kWh por dia. Para uma melhor compreensão de qual o local ou os locais que apresentam maior consumo elétrico, encontra-se representado na Figura 5.3 um gráfico com as percentagens de consumo por espaço.



Figura 5.3 Percentagem de consumo por espaço

Como se pode verificar pela análise da Figura 5.3 a zona da nave é a que apresenta um maior consumo de energia elétrica no que diz respeito à iluminação tendo um peso de 40 % no valor total, os espaços que se seguem de maior consumo são os balneários feminino e masculino.

Bombas de circulação

Para promover a movimentação dos fluidos são utilizadas bombas. Estas bombas por norma apresentam uma componente energética significativa relativamente ao consumo de eletricidade. No local não foi possível recolher informação de todas as bombas devido à incapacidade de perceção da chapa onde os dados se encontravam. No entanto, na Tabela 5.2 encontram-se os valores das potências consumidas bem como o consumo total de energia elétrica por parte das bombas onde foi possível realizar a leitura.

Tabela 5.2. Potência elétrica consumida pelas bombas de circulação

Bombas de circulação			
Local	P (kW)	t(h)	E (kWh)
Piscina pequena	1,5	24	36
	1,5	5	7,5
Piscina grande	3	24	72
	3	5	15
E consumida diariamente			130,5

A energia consumida por parte das bombas corresponde a 130,5 kWh por dia. Para uma melhor perceção da quantidade de energia elétrica que cada piscina consome para a circulação da água encontra-se na Figura 5.4 um gráfico com as percentagens de cada uma.



Figura 5.4 Percentagens de energia elétrica consumida por cada uma das piscinas (relativamente às bombas de circulação)

Como se pode verificar pela análise do gráfico da Figura 5.4 o consumo energético por parte das bombas de circulação é maior quando se tratam das piscinas grandes, onde a sua contribuição é 67% para o valor final de consumo.

Unidades de tratamento de ar

As instalações possuem duas UTA, uma para climatização da zona da nave (UTA2) e outra para o restante edifício (UTA1).

A UTA2 tem a capacidade de realizar a desumidificação que deveria ser ativada sempre que a humidade relativa estivesse acima do valor estipulado como set-point, contudo devido a uma avaria existe apenas insuflação de ar seco controlado manualmente (funciona com 100% do caudal máximo quando tem utilizadores na piscina e com 50% quando não está a ser utilizada). Posto isto, a desumidificação do ar não é realizada, comprometendo assim a qualidade do ar interior.

Na Tabela 5.3 encontram-se os consumos elétricos por parte da unidade de tratamento de ar.

Tabela 5.3. Consumos elétricos por parte da unidade de tratamento de ar

Unidade de tratamento de ar			
	P (kW)	t(h)	E (kWh)
UTA2 a 50 %	11	20	220
UTA2 a 100 %	22	4	88
UTA1 a 100%	0,368	24	8,832
E consumida diariamente			316,83

Como se pode verificar pela análise da Tabela 5.3 o consumo energético por parte da unidade de tratamento de ar é de 316,83 kWh por dia, em que 97% da energia consumida diz respeito à UTA2.

Consumos totais

Após o cálculo discriminado de cada um dos consumos elétricos existentes no edifício em estudo, os consumos elétricos totais serão agora apresentados resumidamente para ser mais facilmente detetado o utilizador que mais consome energia elétrica. Assim sendo na Tabela 5.4 encontram-se os valores de energia elétrica consumida por utilizador bem como o valor total consumido.

Tabela 5.4. Consumos elétricos por utilizador e consumo final

Utilizador	Energia consumida (kWh)	Percentagem (%)
Lâmpadas	15,12	3%
Bombas de circulação	130,5	28%
Unidade de tratamento de Ar	316,83	69%
Total	462,45	100%

Como se pode observar pela análise da Tabela 5.4 o consumo total de energia elétrica por dia é de cerca de 462,45 kWh, onde 69% desta energia é consumida pela unidade de tratamento de ar, sendo esta a que mais contribui para a fatura elétrica. Por outro lado a iluminação é o utilizador que menos consome, contribuindo apenas com 3% do valor final de energia consumida.

O valor anual de consumo é de 166482 kWh. Este foi o valor obtido ao realizar o levantamento no local, contudo pela análise das faturas elétricas verifica-se que o consumo anual é de 126373 kWh o que resulta num erro de 24%. Este valor pode ser justificado com os valores que foram atribuídos às horas de funcionamento de cada equipamento, pois os consumos elétricos não são iguais todos os dias nem todos os meses e o valor obtido pelo levantamento de dados no local considera um consumo constante.

5.6 Aquecimento do ar

O aquecimento e tratamento do ar são realizados por duas unidades de tratamento de ar designadas por UTA1 e UTA2.

A unidade designada por UTA1 é responsável pelo circuito de ar para os balneários bem como para as zonas de serviço. A unidade de ventilação é da marca

Sandometal (0,368 kW) e é composta por um ventilador de insuflação, filtro e bateria de aquecimento. As condutas de aquecimento (onde circula o ar) estão localizadas no plano superior das divisões.

A UTA2 é responsável pelo tratamento térmico do ar da nave. A unidade de tratamento é da marca *Dantherm* (22 kW) e tem a capacidade de insuflar ar novo a 100% e a 50%. Esta unidade é composta por ventiladores de extração e insuflação de ar, recuperador de calor, filtros, baterias de aquecimento e capacidade de desumidificação. Embora esta unidade seja composta por um desumidificador este não se encontra em funcionamento.

5.7 Classificação energética do edifício

Este subcapítulo contém a classificação energética do edifício, nele encontra-se a simulação dinâmica, a construção do modelo computacional, a simulação real e o cálculo dinâmico simplificado onde se encontram os valores dos indicadores de eficiência energética bem como a classificação energética do edifício.

5.7.1 Simulação dinâmica

A simulação dinâmica consiste num método de análise do desempenho energético de um edifício. Este método permite avaliar, de um modo quantitativo, os potenciais consumos de energia do edifício e dos seus sistemas para determinadas condições de utilização e funcionamento.

Para além disso, a simulação dinâmica permite a determinação das necessidades de aquecimento e arrefecimento, bem como os ganhos internos provenientes da utilização de equipamentos e dos elementos exteriores. Posto isto, trata-se de uma ferramenta importante pois possibilita a realização de ensaios de diferentes soluções de projeto e alternativas na operação e gestão do funcionamento de edifícios.

A simulação dinâmica do edifício pode ser de um modo resumido decomposta em duas partes: a simulação real e a simulação nominal. A simulação em condições reais tem como objetivo calibrar o modelo computacional através da comparação entre os consumos energéticos reais (discriminados em faturas ou obtidos através de contagens no local) com os consumos obtidos numericamente, validando o modelo sempre que a diferença entre eles seja inferior a 10%.

Para isso é necessário que haja uma parametrização do modelo computacional do edifício com todas as informações obtidas nos levantamentos, devendo o levantamento ser exaustivo de modo a que se consiga obter um modelo o mais realista possível.

Depois de garantida a validade do modelo computacional, procede-se então à simulação em condições nominais, nesta simulação parte das características reais do edifício são mantidas, nomeadamente: a envolvente, a iluminação e os sistemas de climatização, substituindo todos os horários, ocupação, densidades de equipamento, temperaturas de conforto e caudais de ar novo pelos impostos pelo regulamento para cada tipologia de espaço.

5.7.2 Construção do modelo computacional

O programa escolhido para a construção do modelo computacional foi o *DesignBuilder* pois trata-se de um programa cuja interface é bastante intuitiva.

Inicialmente é feita toda a modelação geométrica e introdução de dados no *DesignBuilder*. O programa contém uma vasta quantidade de bibliotecas com predefinições que tornam a introdução de dados mais acessível.

No programa é possível definir a orientação do edifício bem como colocar os dados climatéricos específicos da região. Embora este contenha uma vasta biblioteca com dados de Portugal, neste caso optou-se por introduzir manualmente os valores climatéricos disponibilizados pelo LNEG- Laboratório Nacional de Energia e Geologia. Na Figura 5.5 encontram-se os dados do LNEG.

Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica

versão 1.05 (13 fevereiro 2014)

Seleção por município

Gondomar

Zona climática

NUTS 3: Grande Porto
Latitude: 41,3 °N (nominal)
Longitude: 8,6 °W (nominal)
Altitude: 94 m (referência)

Local específico

Município:
Altitude: 94 m

Dados climáticos

	Referência	Neste local
Estação de aquecimento		
Período:	6,2	6,2 meses
T média:	9,9	9,9 °C
Graus-dia:	1250	1250 °C
Estação de arrefecimento		
T média:	20,9	20,9 °C

Zonas de verão e inverno

V 2	I 1
-----	-----

preparar ficheiro

SCE (formato para Cálculo Dinâmico Simplificado)

Software para Políticas Públicas

Sistema Nacional de Certificação de Edifícios
Decreto-Lei 118/2013 de 20 agosto

Figura 5.5. Dados climáticos de referência para simulação dinâmica

Após a introdução dos dados climatéricos procedeu-se ao desenho em 3D do edifício. Como no local não existia planta do edifício foi necessário proceder à medição de todas as divisões para que deste modo o desenho fosse o mais próximo do real possível.

Nas figuras que se seguem encontram-se as várias vistas do edifício desenhado em *DesignBuilder*.

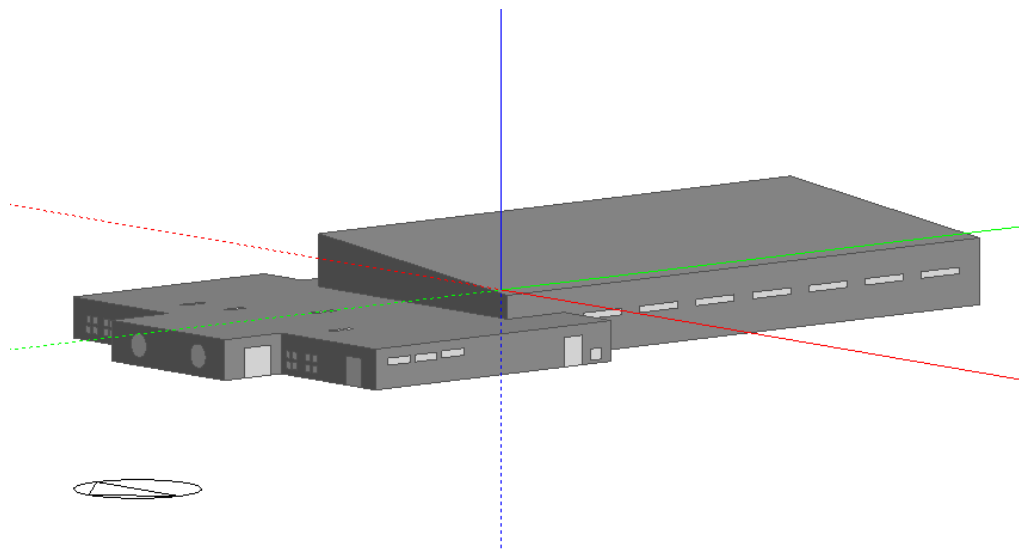


Figura 5.6. Vista da lateral oeste do edifício

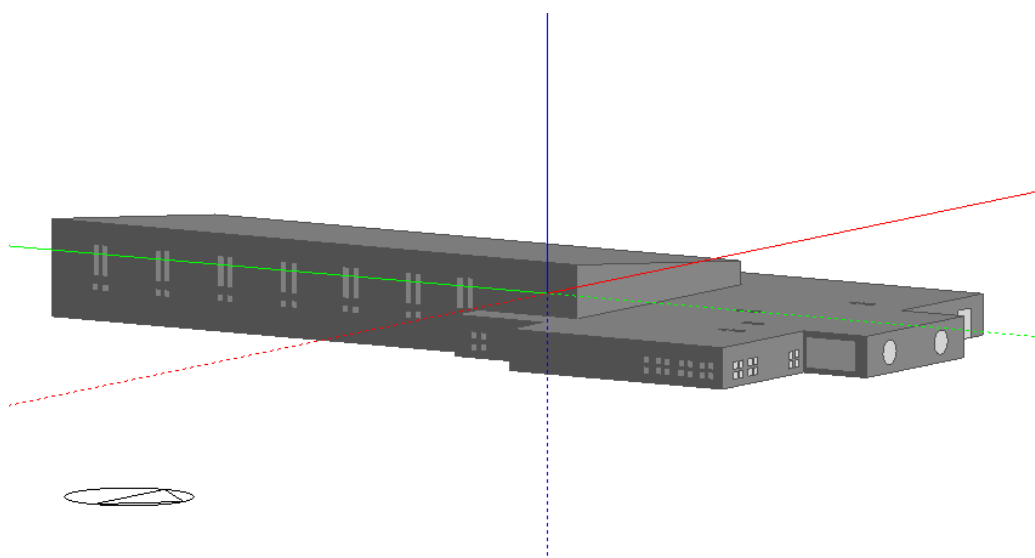


Figura 5.7. Vista da lateral este do edifício

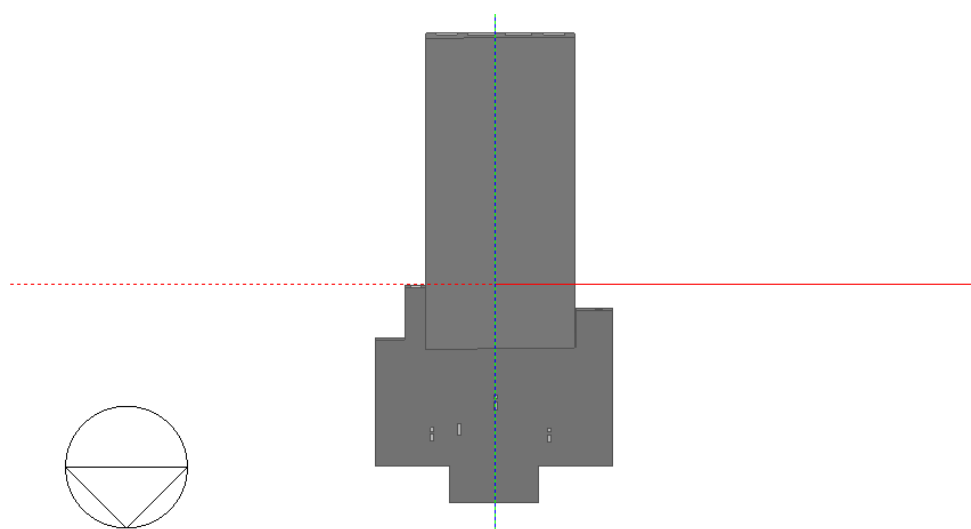


Figura 5.8. Vista de cima do edifício

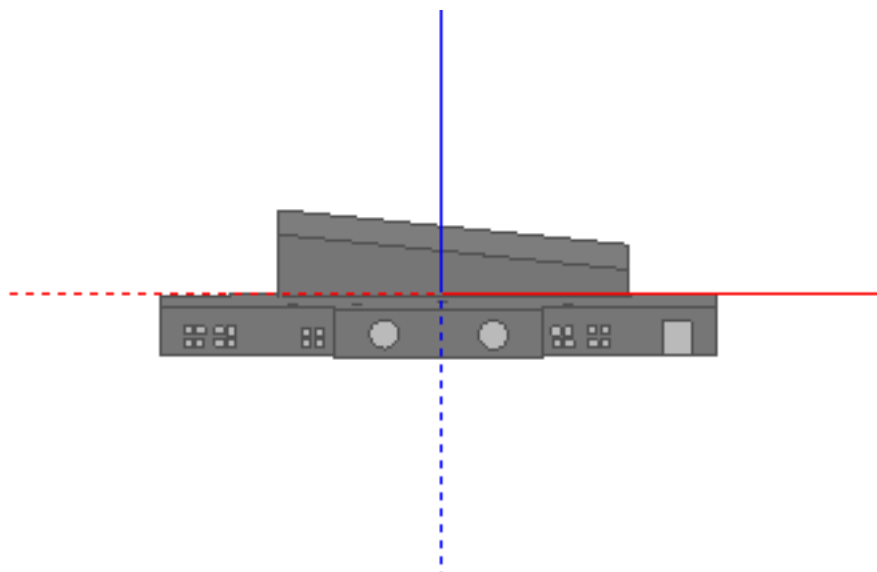


Figura 5.9. Vista de frente do edifício (norte)

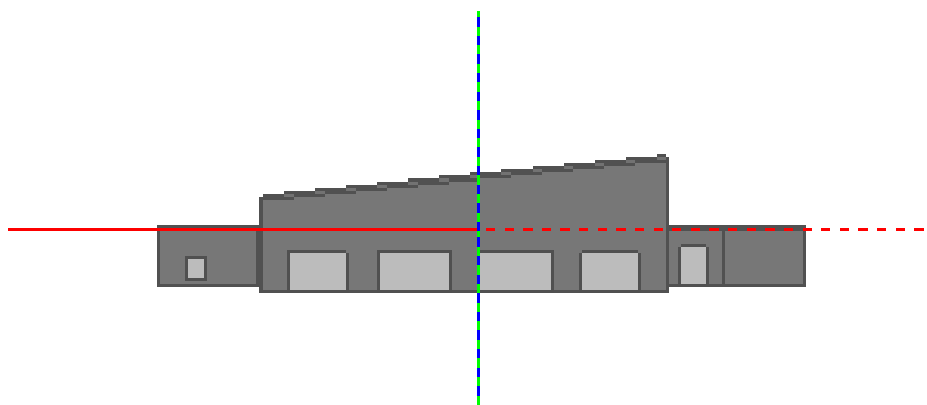


Figura 5.10. Vista de trás do edifício (sul)

Após o desenho 3D do edifício é possível proceder-se à introdução dos dados do edifício. Esta introdução pode ser efetuada de um modo geral ou por zonas e é realizada através de cinco separadores:

- “*Activity*” – Neste separador os dados introduzidos são relativos ao tipo de atividade realizada em determinada zona. Exemplo: horário e densidade de ocupação, consumo de água quente sanitária, quantidade de ar novo insuflado, entre outros;
- “*Construction*” – Neste separador os dados são referentes ao tipo de construção e material;
- “*Openings*” – Neste ponto os dados são relativos a aberturas no edifício. Exemplo: janelas, portas, tipo de vidro, entre outros;
- “*Lighting*” – Neste ponto os dados são referentes à iluminação. Exemplos: tipo de iluminação, horário de utilização, entre outros;

- “HVAC” – Neste separador os dados são relativos ao aquecimento e sistema de ventilação do edifício.

Materiais e Tipo de Coeficientes de Transmissão Térmica

Existem determinados dados de entrada que são comuns a todo o edifício, como é o caso dos materiais de construção, sendo assim podem ser especificados nas opções gerais do modelo.

O tipo de material de construção não é conhecido, por isso foram utilizados os valores da nota técnica NT-SCE-01.

No separador “*Construction*” criaram-se dois tipos de parede, uma exterior e uma interior, sendo que os seus coeficientes de transmissão térmica foram de $1,47 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ para a parede exterior e para a parede interior (estes valores dizem respeito a paredes rebocadas posteriores a 1960, simples ou duplas).

Relativamente aos coeficientes de transmissão térmica das superfícies horizontais (coberturas e pavimentos) consideraram-se os valores de referência existentes na biblioteca do *DesignBuilder* em que para a cobertura foram utilizados os dados referentes à cobertura leve plana para a parte das salas e cobertura leve inclinada para a zona da nave. Para o pavimento utilizaram-se os dados referentes ao pavimento pesado.

No que diz respeito aos envidraçados os valores utilizados foram também os valores de referência da biblioteca do *DesignBuilder*.

5.7.3 Simulação real

Como já foi referido anteriormente, o processo de simulação dinâmica em condições reais tem como objetivo garantir que o modelo computacional criado se comporta o mais próximo possível da realidade.

Para este efeito comparam-se os consumos energéticos obtidos através da simulação com os consumos obtidos através das faturas e ou medições energéticas.

5.7.4 Perfis de simulação real

Uma vez que não foi possível efetuar medições energéticas a todos os quadros elétricos e equipamentos, os perfis de simulação para a calibração do modelo real não apresentam exatamente o comportamento real mas uma aproximação.

O perfil que se encontra na figura que se segue é o perfil de ocupação do edifício.

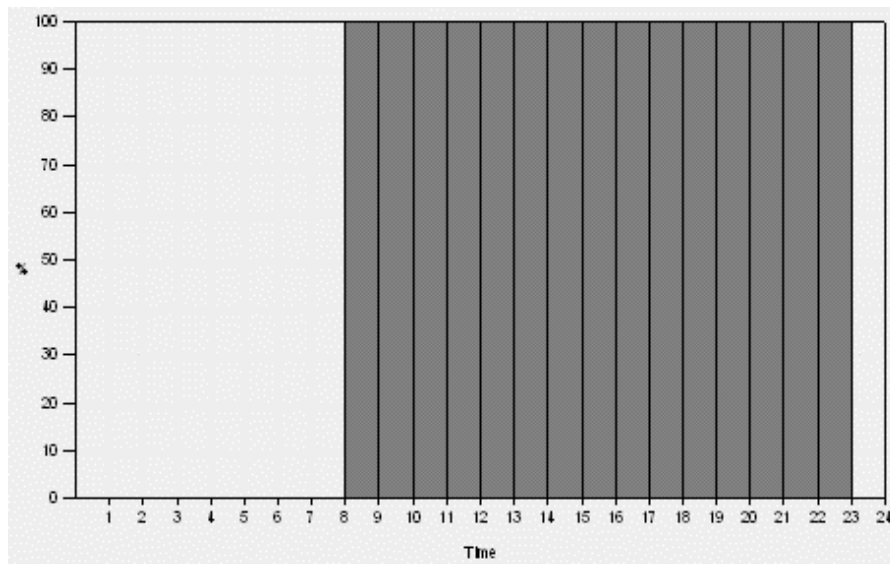


Figura 5.11. Perfil real de ocupação das piscinas

Na Figura 5.11 encontra-se o perfil de ocupação utilizado para as piscinas, este perfil foi utilizado com uma carga de 100% durante o horário de funcionamento das piscinas pois não se consegue contabilizar de uma forma exata o número de ocupantes reais, assim para garantir o fator de segurança optou-se por sobrecarregar o perfil.

De seguida na Figura 5.12 encontra-se o perfil de equipamentos real.

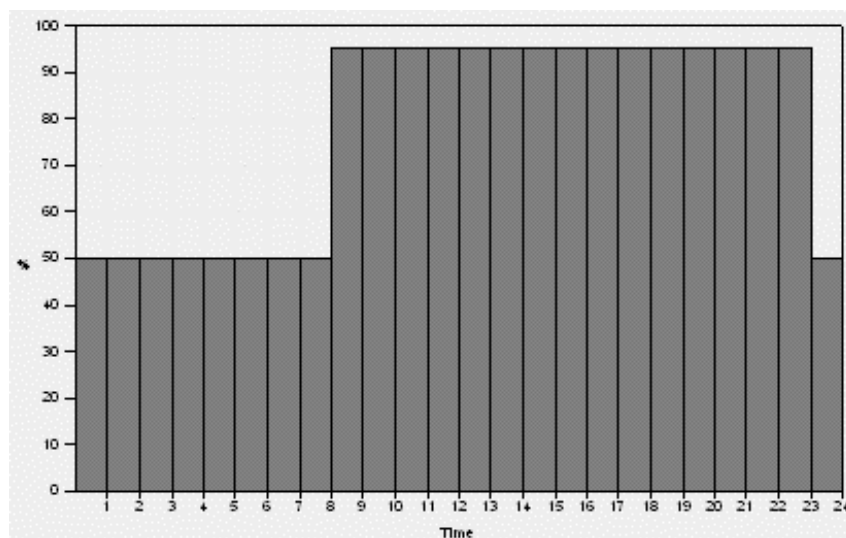


Figura 5.12. Perfil real de equipamentos

A elaboração do perfil de equipamentos foi realizada com base no levantamento que foi efetuado no edifício. Como se pode verificar existem equipamentos que trabalham 24h por dia, como é o caso das bombas de circulação da água.

De seguida é apresentado o perfil de iluminação real.

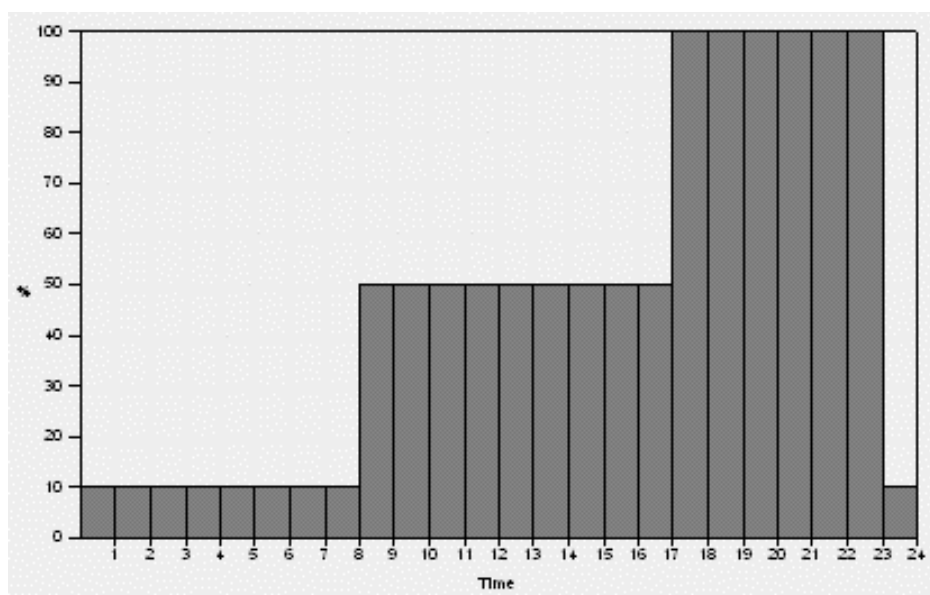


Figura 5.13. Perfil de iluminação real

O perfil de iluminação é difícil de prever pois a iluminação num edifício é muito inconstante. Posto isto, considerou-se que a percentagem de iluminação nas horas noturnas era superior às necessidades diurnas como é possível verificar pela observação da Figura 5.13.

Por último é apresentado o perfil AVAC que se encontra na Figura 5.14.

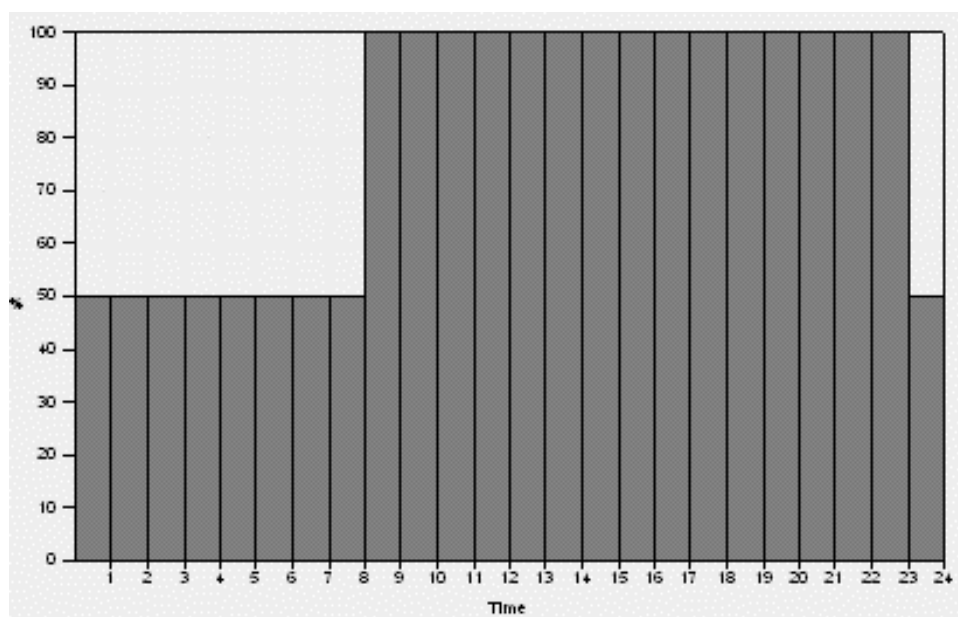


Figura 5.14. Perfil AVAC real

Como já foi referido anteriormente, a climatização do edifício é realizada 24h por dia. Enquanto as piscinas não estão em funcionamento (período noturno) o sistema opera a 50% da sua capacidade e quando estão em funcionamento a sua operação é a 100% da sua capacidade. Embora anteriormente se tenha estipulado que apenas em 4h do dia o sistema funcionava a 100% atendendo a que não é possível prever quais as horas em que isso acontece estipulou-se que no horário de funcionamento das piscinas este tinha uma carga de 100% garantindo assim o fator de segurança.

Uma vez inseridos todos os dados necessários procedeu-se então à simulação dinâmica real do edifício em estudo.

5.7.5 Resultados da simulação real

Neste subcapítulo serão apresentados os resultados da simulação dinâmica real, tendo em conta todos os dados que foram introduzidos.

Na figura que se segue encontra-se um gráfico com os ganhos internos do edifício.



Figura 5.15. Ganhos internos anuais do edifício

Como se pode verificar pela análise da Figura 5.15 as necessidades de energia térmica são aproximadamente constantes ao longo do ano. Os ganhos energéticos solares que o edifício apresenta sofrem uma variação resultante das mudanças de estação, apresentando maiores ganhos nas estações primavera e verão e menores no outono e no inverno. Estas variações não chegam a afetar as necessidades térmicas do edifício porque para contrabalançar existe a ocupação que apresenta maiores ganhos nas estações frias e menores nas estações quentes.

De seguida serão apresentados os consumos globais obtidos na simulação e os consumos globais que efetivamente existem (obtidos através da auditoria energética).

Tabela 5.5. Comparação entre os consumos reais da auditoria energética e os consumos reais da simulação

Consumo real (auditoria) (kWh/ano)	166482
Consumo simulação real (kWh/ano)	161107
Erro (%)	3,2

Como se pode verificar pela análise da Tabela 5.5 a oscilação entre as medições e a simulação real é inferior a 10%, posto isto o modelo obedece aos parâmetros de conformidade.

O modelo de cálculo do IEE que o *Designbuilder* (versão trial) possui não é compatível com a lei que se encontra atualmente em vigor. O cálculo que este *software* efetua tem como base de comparação uma situação nominal, contudo segundo a lei atual a classificação energética passa a ser efetuada em condições reais previstas (novos edifícios) ou efetivas (edifícios existentes). Os consumos reais são obtidos através do funcionamento real com as soluções reais e, sendo assim, os indicadores previstos ou reais serão comparados com os de referência ($IEE_{referência}$), calculados para funcionamento real mas com soluções de referência, de forma a se poder avaliar o desempenho energético do edifício.


O *Designbuilder* já possui um extensão que permite o cálculo do IEE segundo a legislação atual, contudo esta só se encontra disponível para quem paga a licença, não estando disponível para a versão experimental de 30 dias.

Posto isto, tornou-se necessário arranjar um outro programa que efetuasse a simulação dinâmica e que se encontrasse atualizado no que diz respeito à legislação atual. O LNEG tem na sua plataforma online uma aplicação, a “*STE-MONOZONA*”, que permite proceder ao Cálculo Dinâmico Simplificado aplicável apenas a pequenos edifícios de comércio e serviços.

5.7.6 Cálculo dinâmico simplificado

Neste subcapítulo encontram-se todos os dados introduzidos na aplicação para o cálculo do IEE. A aplicação disponibilizada pelo LNEG consiste num ficheiro de Excel que possui vários separadores onde é possível introduzir os dados relativos ao edifício em estudo. Quando se procede à abertura do ficheiro surge uma página com os diferentes separadores como se pode visualizar na Figura 5.16.

STE-MONOZONA

 Cálculo Dinâmico Simplificado para pequenos edifícios de comércio e serviços
 versão 2.1.3 (18 setembro 2014)

Local / Clima

Dados gerais do edifício

Envolvente exterior

Envolvente em contacto com o solo

Envolvente interior

Vãos envidraçados - sem proteções

Vãos envidraçados - com proteções

Utilização

Sistemas

Resultados

Figura 5.16. Página inicial da aplicação STE-MONOZONA

No primeiro separador, Local/Clima, é seleccionado o local onde o edifício se situa. A página que surge é igual à Figura 5.5.

De seguida são introduzidos os dados gerais do edifício como se pode ver nas tabelas que se seguem (todos os valores têm uma base anual).

Tabela 5.6. Zona térmica – espaços tipo A

Identificação	Tipo de Espaço	Área de pavimento [m ²]	Iluminância [lux]	Iluminação [W]		Equipamentos não regulados [W]	
				Referência	Edifício	Uso contínuo	Uso intermitente
Piscina	Lojas comércio e serviços	859	500	18420	3000	10	10
Salas	Salas aula, reuniões, auditórios, bibliotecas	422	300	3108	2039	17	14

Neste separador (Tabela 5.6) é possível colocar as diferentes identificações para se tornar mais fácil o preenchimento dos dados pedidos pela aplicação. Os espaços do tipo A dizem respeito aos espaços cuja climatização é idêntica.

Seguidamente são apresentados os espaços tipo B.

Tabela 5.7. Zona térmica – espaços tipo B

Identificação	Tipo de Espaço	Área de pavimento [m²]	Iluminação [W]		Equipamentos não regulados [W]	
			Referência	Edifício	Uso contínuo	Uso intermitente
Casa caldeiras e filtros	Armazéns, Arquivos, Salas Técnicas e Cozinhas	111	420	50	0	300

Os espaços do tipo B são zonas onde por norma não existe ocupação humana nem sistema de aquecimento e ventilação.

Os equipamentos de consumo regulado encontram-se na tabela que se segue.

Tabela 5.8. Diversos equipamentos de consumo regulado

Equipamento	Edifício	Referência
Ventiladores UTA e UTAN	12833 W	300 W
Ventiladores Extração e exaustão	368 W	-
Humidificação	0 W	-
Desumidificação	0 W	-
Bombas climatização	5438 W	-
Bombas AQS	0 W	-

Os dados introduzidos na Tabela 5.8 dizem respeito à potência absorvida pelos equipamentos anualmente.

De seguida estão apresentadas as necessidades de água quente requeridas pelo edifício.

Tabela 5.9. Necessidades de água quente

	Volume (L)	ΔT (°C)
AQS	1 776 000	33
Piscinas - água nova	8 640 000	14
Piscinas - recirculação	1 097 280 000	1

Na Tabela 5.9, para além das necessidades de água quente (em litros) requeridas pelo edifício, encontram-se também os diferenciais de temperatura relativamente à água da rede.

A tabela que se segue contém os dados sobre a envolvente exterior, nomeadamente as paredes, as coberturas e os pavimentos.

Tabela 5.10. Envolvente exterior – paredes, coberturas e pavimentos

Tipo de Envolvente	Área	U	Coef. Abs.	$\alpha \cdot U \cdot A \cdot R_{se}$	U.A
	[m ²]	[W/m ² °C]	α	[W/°C]	[W/°C]
Paredes Orientação N	89,6	1,47	0,4	2,11	131,7
Paredes Orientação W	253	1,47	0,4	5,95	371,9
Paredes Orientação S	145	1,47	0,4	3,41	213,2
Paredes Orientação E	365	1,47	0,4	8,58	536,6
Cobertura plana	533	1	0,4	8,53	533,0
Cobertura inclinada	863	6,6	0,4	91,13	5695,8
Pavimento	1392	1,25	-	-	1740,0

Na Tabela 5.10 encontram-se os dados relativos às paredes de diferentes orientações, bem como os pavimentos e coberturas. Os dados aqui introduzidos são os mesmos que foram utilizados na simulação real do *Designbuilder*. Seguidamente serão apresentados os dados relativos aos vãos envidraçados.

Tabela 5.11. Vãos envidraçados

Vãos	Área	U	g_{Tp}	Fg	Fs	A_{equiv}	A.U
	[m ²]	[W/m ² °C]				[m ²]	[W/°C]
Orientação N	9,5	6	0,56	0,7	1	3,72	57,0
Orientação W	14	6	0,56	0,7	1	5,49	84,0
Orientação S	25,6	6	0,56	0,7	1	10,04	153,6
Orientação E	23	6	0,56	0,7	1	9,02	138,0
Orientação Horizontal	3	6	0,56	0,7	1	1,18	18,0

À semelhança dos dados relativos à envolvente exterior, também os dados dos vãos envidraçados e dos perfis de utilização são os mesmos que foram introduzidos no *Designbuilder*.

Por último foram introduzidos os dados relativos à fonte de produção de energia térmica, nomeadamente as caldeiras a gás natural. Depois de introduzidos todos os dados referentes ao edifício foi possível obter os resultados das necessidades anuais em

energia útil, os consumos anuais de energia final por uso, os consumos anuais de energia final por fonte de energia, os índices de eficiência energética e a classificação energética do edifício. Sendo assim, a figura que se segue tem representadas as necessidades anuais em energia útil.

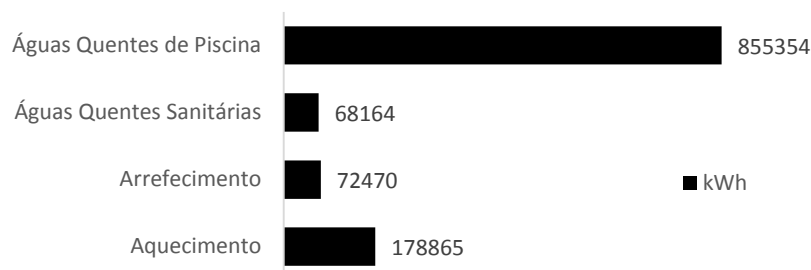


Figura 5.17. Necessidades anuais em energia útil

Como se pode verificar pela análise da Figura 5.17, este edifício apresenta necessidades de aquecimento superiores às necessidades de arrefecimento. Para além disso, são as águas quentes das piscinas que precisam de mais energia útil. Seguidamente serão apresentados os consumos anuais finais por uso.

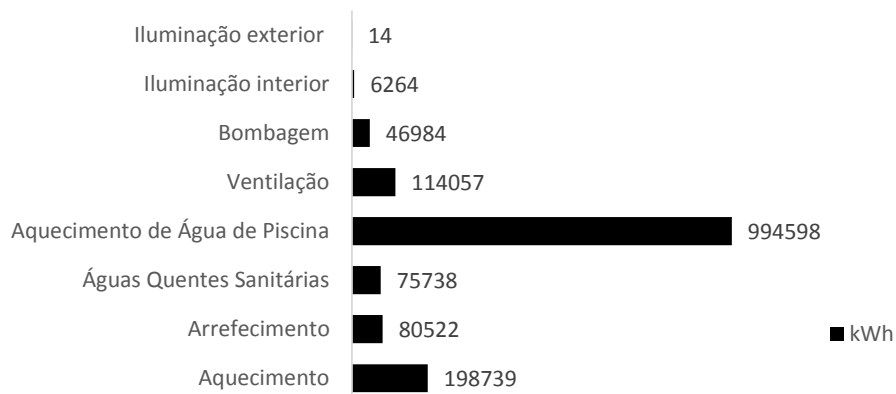


Figura 5.18. Consumos anuais finais por uso

Pela observação da Figura 5.18, é possível verificar que o maior consumo de energia está no aquecimento da água da piscina. Os consumos anuais de energia final por fonte de energia são apresentados na figura que se segue.



Figura 5.19. Consumos anuais de energia final por fonte de energia

Como é possível visualizar pela análise da Figura 5.19, os consumos anuais de gás natural são muito superiores aos de eletricidade. Para verificar se o modelo está de acordo com o edifício em estudo serão apresentados os consumos elétricos e de gás natural que foram obtidos com a auditoria energética e com a simulação.

Tabela 5.12. Comparação dos consumos finais anuais obtidos na auditoria e na simulação

	Eletricidade (kWh)	Gás Natural (kWh)
Auditoria	166482	1317240
Simulação	169257	1349597
Erro (%)	1,67	2,46

Através da observação da Tabela 5.12 verifica-se que o erro relativo entre os dois cálculos é baixo, o que significa que a simulação está muito próxima do valor real.

5.7.7 Indicadores de eficiência energética e classificação do edifício

Uma vez que todos os dados necessários para o cálculo dos índices de eficiência energética são conhecidos, na Tabela 5.13 encontram-se os seus valores.

Tabela 5.13. Índices de eficiência energética

Índices de Eficiência Energética		
	Edifício (kWh/m²)	Referência (kWh/m²)
IEE_s	1266,4	1020,3
IEE_T	3,5	3,5
IEE_{REN}	0	0
IEE	1269,9	1023,8

O rácio de classe energética (R_{IEE}) é de 1,24 o que corresponde a uma classificação energética do edifício de C.

6 Propostas de melhoria

Neste capítulo serão apresentadas algumas propostas de melhoria, que poderão contribuir para uma melhor eficiência energética do edifício em estudo.

6.1 Integração Energética

Num processo industrial pressupõe-se que sejam satisfeitos os objetivos de produção e que em simultâneo se maximize a qualidade e minimize os custos de produção. A integração energética surge, assim, como um contributo para o alcance destes objetivos, tendo como base uma metodologia sistemática que transmite ao engenheiro uma visão geral da utilização de energia em todo o processo de produção, e tendo como finalidade a otimização da recuperação de calor do processo bem como dos sistemas exteriores (aquecimento e arrefecimento).

Na integração energética é utilizado o conceito de correntes frias e correntes quentes. São designadas por correntes frias aquelas que no processo precisam de aumentar a sua temperatura e para isso recebem calor proveniente de utilidades quentes (o vapor de água é um exemplo disso, é exterior ao processo). Por correntes quentes entendem-se as correntes que necessitam diminuir a sua temperatura e para tal cedem calor a utilidades frias (a água de refrigeração por exemplo, é exterior ao processo).

Posto isto, ao ser implementada a integração energética num processo existe a possibilidade de poupança no consumo de utilidades quentes e frias. Isto acontece porque as correntes que precisam de ser aquecidas e de ser arrefecidas passam a trocar calor entre si, em vez de permutarem calor apenas com utilidades exteriores ao processo. [17] Com esta implementação consegue-se uma redução de consumos energéticos e consequentemente monetários, bem como uma diminuição da poluição do meio ambiente.

6.1.1 Caso de estudo

No presente estudo, não existe produção de nenhuma matéria-prima, nem tão pouco um processo onde possam ser implementadas medidas de integração energética no próprio edifício. Existe, no entanto, uma central de ciclo combinado nas imediações do edifício (cerca de 600m de distância) onde se encontram as piscinas municipais. Foi este o ponto de partida para o estudo de uma possível integração energética entre dois edifícios independentes que nada têm em comum.

A central de ciclo combinado utiliza como água de arrefecimento a água captada do Rio Douro em circuito aberto, ou seja, a água captada é devolvida novamente ao rio sem que sofra alteração da sua composição porque não lhe é adicionada qualquer substância. A água é devolvida mais quente ao rio, mas o diferencial máximo de 3°C entre um ponto a montante da captação e um ponto 30 m após a descarga é sempre respeitado pois existe monitorização em contínuo da temperatura do rio. É neste ponto que se foca este estudo, no possível aproveitamento de uma pequena parte da carga térmica que é desperdiçada no rio.

A ideia inicial seria realizar uma permuta de calor entre uma pequena parte da água que é devolvida ao rio e o caudal de recirculação das piscinas. Na Tabela 6.1 encontra-se exemplificado de uma forma simples a possível integração energética.

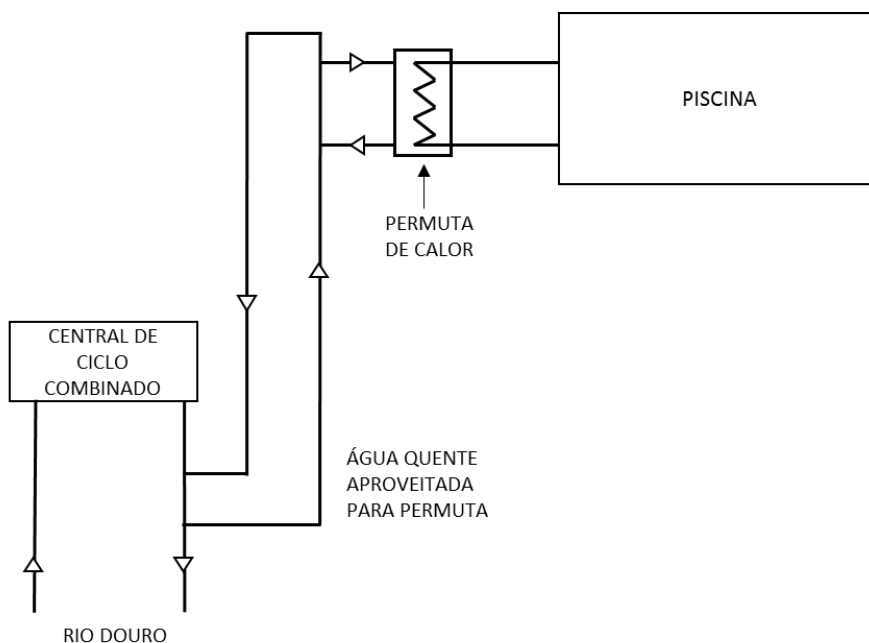


Figura 6.1. Primeira proposta de integração energética

Para que seja possível colocar em prática esta proposta a temperatura de retorno da água ao Rio Douro deve rondar os 70 °C (temperatura a que a água da caldeira é produzida). Contudo após entrar em contacto com os responsáveis pela parte ambiental da central, verificou-se que a carga térmica da água devolvida ao rio não era muito elevada uma vez que garantem que esta água nunca apresenta uma temperatura superior a 10 °C do valor de temperatura a que é capturada. Para além disso o processo

de arrefecimento é apenas realizado no período diurno e a central funciona apenas pontualmente (7%).

Posto isto, torna-se importante ter o conhecimento da temperatura da água do rio ao longo do ano.

Tabela 6.1. Temperaturas da água do Rio Douro (média de 2011, 2012 e 2013)

Mês	Temperatura média da água do rio	Temperatura água descarga
Janeiro	12	20
Fevereiro	11	19
Março	10	18
Abril	10	18
Maio	9	17
Junho	10	18
Julho	12	20
Agosto	15	23
Setembro	15	23
Outubro	12	20
Novembro	11	19
Dezembro	11	19

Como se pode verificar pela análise da Tabela 6.1. Temperaturas da água do Rio Douro (média de 2011, 2012 e 2013), a temperatura do rio varia entre os 9 e os 15 °C, o que resulta numa gama de temperatura para permuta de 17 a 23 °C (considerando que existiriam perdas de 20% desde a central até às piscinas, o $\Delta T=8^{\circ}\text{C}$). Como os valores de temperatura são baixos, não é possível realizar a permuta que se pretendia.

Assim, optou-se por avaliar quais seriam os benefícios se se utilizasse a carga térmica da água que é devolvida ao rio para efetuar o pré-aquecimento da AQS, da água de compensação e do ar novo insuflado. Para isso, considerou-se que a temperatura da água do rio e o ar ambiente se encontram em equilíbrio térmico.

Na figura que se segue encontra-se um esquema simplificado da proposta de integração energética.

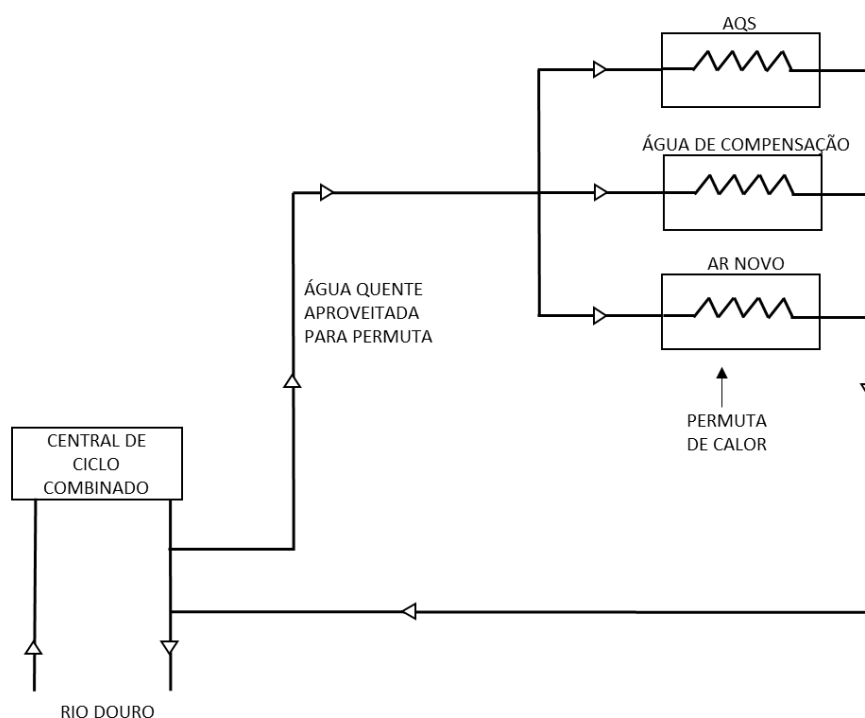


Figura 6.2. Segunda proposta de integração energética

Para colocar em prática esta integração o caudal de água com carga térmica necessário é de 3 m³/h (no Anexo H encontra-se o cálculo deste caudal), este valor representa 0,008% do caudal de água do rio utilizado pela central de ciclo combinado.

Seguidamente são apresentadas as poupanças energéticas e monetárias conseguidas com esta implementação (no Anexo H encontram-se as tabelas com mais pormenor).

Tabela 6.2. Poupanças energéticas e monetárias anuais com a integração energética

	Poupança Energética (kWh)	Poupança monetária (€/amo)
AQS	16503	660
Água de compensação	73347	2934
Ar novo	144507	5780
Total	234357	9374

A poupança monetária anual é cerca de 9374 €.

Uma vez conhecido o valor anual de poupança monetária que esta integração acarreta, procedeu-se a uma estimativa do custo de investimento para a colocar em prática. Os equipamentos necessários são 3 permutadores, 2 bombas de circulação, tubagens e acessórios.

Na tabela que se segue encontram-se discriminados os custos associados a cada um dos equipamentos anteriormente descritos.

Tabela 6.3. Custo dos equipamentos e investimento total

Equipamento	Quantidade/metros	Preço unitário/metro	Custo (€)
Permutador de placas	2	805,7 [18]	1611,3
Permutador compacto	1	1289,1 [18]	1289,1
Tubagens (m)	650	4,13 [19]	2685
Acessórios	100	0,85 [19]	85
Bombas	2	1050 [20]	2100
Custo dos equipamentos			7769,9
Custo total da Instalação			13985,8

Uma vez que se desconhece qual o custo de mão-de-obra e o tempo que levaria a colocar em prática esta proposta, considerou-se um acréscimo de 80% no valor total dos equipamentos para que haja uma margem de erro relativamente ao custo real. Sendo assim o custo total de investimento é cerca de 13985,8 € e o período de recuperação seria obtido em menos de 1,5 anos.

6.2 Instalação de uma cobertura isotérmica

Quando foram quantificadas as perdas energéticas associadas aos tanques de natação verificou-se que as perdas por evaporação eram as que mais contribuíam para o valor final de perdas energéticas, representando 62% das perdas totais. Estas perdas provocam um maior consumo de energia, pois a energia perdida tem de ser repostas. Para além disso as perdas por evaporação contribuem para o aumento da humidade relativa no interior da nave.

A aplicação de uma cobertura nos tanques de natação reduz a evaporação de água e diminui o transporte de substâncias voláteis da água para o ar, e para além disso os custos energéticos do aquecimento da água podem ser reduzidos até cerca de 70%. A redução de custos está dependente das condições climatéricas, da frequência da piscina bem como do horário praticado. [15]

No caso em estudo as perdas energéticas anuais representam cerca de 39% da energia calorífica produzida nas caldeiras. Posto isto, serão demonstradas, Tabela 6.4, as poupanças energéticas que se poderiam obter ao utilizar a cobertura isotérmica em ambas as piscinas.

Tabela 6.4. Energia poupada com a aplicação de uma cobertura na piscina

Perdas por evaporação (kW)	59,1
Perdas por evaporação durante um dia (kWh)	1418,2
Número de horas de utilização de cobertura (h)	9
Perdas por evaporação evitadas (cobertura impede 90% das perdas) (kWh)	478,6
Energia perdida com uso da cobertura (kWh)	939,6
% Energia poupada	33,7

Sendo assim ao ser utilizada uma cobertura isotérmica recuperava-se cerca de 33,7% da energia perdida por evaporação.

6.2.1 Análise económica da instalação da cobertura isotérmica

A utilização de coberturas em piscinas permite uma elevada poupança energética, contudo é necessário verificar se a sua implementação é viável para este caso de estudo.

Com a aplicação da cobertura a energia poupada anualmente é cerca de 172296 kWh, o que representa uma poupança monetária de 6892 €/ano (considerando o preço de gás natural é 0,04 €/kWh).

As coberturas aconselhadas para as piscinas cobertas são as coberturas isotérmicas de espuma que reduzem as perdas por evaporação em 90 a 98% [21].

As piscinas (pequena + grande) apresentam uma área de 315 m². O investimento na cobertura isotérmica de espuma é de 37,12 €/m² [21], o que significa que a cobertura fica por 11693€.

Para além da cobertura são necessários dois enroladores. Cada enrolador tem o custo de 341,47, o que resulta em 682,94 € [21].

O investimento total para a instalação da cobertura seria de 14000 € considerando que o valor da instalação seria 13% do valor da cobertura e dos enroladores. O investimento seria recuperado no período de 2 anos.

6.3 Substituição do telhado da zona da nave

O telhado da zona da nave é composto por painéis de chapa simples (coeficiente de condutividade térmica = 6,6 W/m².°C [16]), sem nenhum revestimento que ajude a isolar termicamente o espaço. Um dos problemas que ocorre na zona da nave no inverno é não conseguirem manter estável a temperatura ambiente. Este problema pode estar relacionado com o facto de o telhado não apresentar isolamento térmico adequado.

Assim, a sugestão passa pela substituição das telhas de chapa simples, por telhas termo acústicas (do tipo sanduíche), que são compostas por duas telhas convencionais preenchidas por material inerte (poliuretano) que possui um baixo coeficiente de condutividade térmica ($0,42 \text{ W/m}^2.\text{°C}$, para uma espessura de 40 mm [22]), oferecendo uma resistência nas trocas constantes de calor externo e interno nas edificações, possibilitando uma redução na utilização de equipamentos de aquecimento do ar.

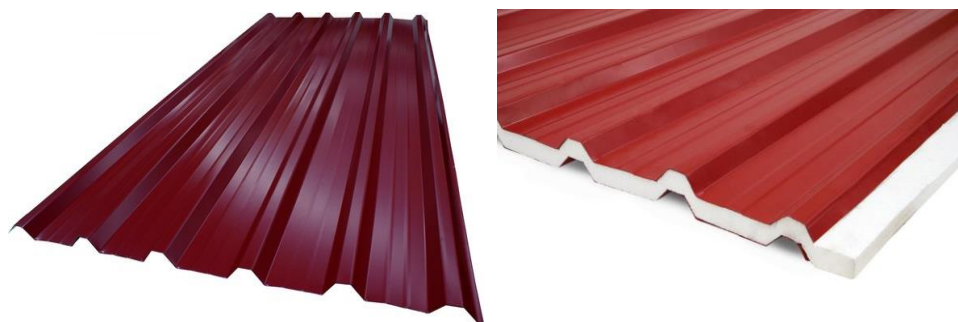


Figura 6.3. A figura da esquerda [20] representa uma telha de chapa simples e a da direita [21] uma telha do tipo sanduíche

6.3.1 Análise económica da aplicação de novas telhas

A substituição das telhas simples por telhas com um bom isolamento térmico resulta numa poupança energética que pode, ou não, ser suficiente para se proceder ao investimento. Posto isto torna-se necessário quantificar quais os ganhos energéticos que seriam obtidos com a substituição proposta.

A simulação térmica do edifício permite efetuar esse estudo. Para isso, substitui-se o coeficiente térmico da cobertura atual pelo coeficiente térmico da cobertura com isolamento térmico. Com esta substituição os consumos energéticos variam como se pode visualizar na tabela que se segue.

Tabela 6.5. Consumos energéticos com os dois tipos de telhado

Tipo de Cobertura	Consumos energéticos anuais de gás natural (kWh)	Poupança energética anual (kWh)
Cobertura sem isolamento térmico	1349597	154674
Cobertura com isolamento térmico	1194923	

Ao substituir o telhado por telhas do tipo sanduíche obtém-se uma redução de 154674 kWh de gás natural por ano, sendo o custo do gás natural cerca de 0,04 €/kWh resulta numa poupança monetária de 6187 €/ano.

O telhado da zona da nave apresenta uma área de cerca de 863 m² e o preço da telha do tipo sanduíche por m² é de 21,648 €. O investimento em telha seria de aproximadamente 18682 €. Assumindo que seriam necessários quatro homens para efetuar a substituição e que levaria cerca de 5 dias até a troca estar completa o custo de mão-de-obra seria:

$$\text{Custo mão – de – obra} = 10 \frac{\text{€}}{\text{h}} \times 8 \frac{\text{h}}{\text{dia}} \times 5 \text{ dias} \times 4 \text{ homens} = 1600 \text{ €}$$

O investimento total, por excesso, seria de 20500 € e seria recuperado num período de 3,5 anos.

Conclusões

O presente trabalho tinha como objetivos a realização de uma auditoria energética e avaliação da qualidade do ar nas instalações de uma Piscina Municipal, permitindo a sua classificação energética. Um outro objetivo era o estudo de possíveis propostas de melhoria que contribuíssem para uma melhor eficiência energética do edifício.

Os parâmetros avaliados na qualidade do ar interior encontravam-se todos dentro dos limites estabelecidos por lei, com exceção dos valores de COVs que em dois pontos de medição (ambos na nave) ultrapassaram os limites estabelecidos por lei. Segundo a Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro, para os COVs totais, se as concentrações medidas forem superiores aos limiares de proteção, a verificação da conformidade deve ser realizada com base na avaliação dos compostos listados na mesma portaria e a verificação de que os mesmos estão presentes em concentrações inferiores aos limiares de proteção aí apresentados.

Relativamente aos consumos de água, o caudal mínimo de água nova nas piscinas imposto por lei é cumprido pela instalação.

No que diz respeito ao caudal de ar novo introduzido, este apenas é respeitado quando a unidade de tratamento de ar está a debitar 100% da sua capacidade. Quando a unidade opera a 50% da sua capacidade apresenta um défice de 5% do valor mínimo estabelecido.

Quanto às perdas energéticas associadas aos tanques de natação, estas apresentam um valor de 95,89 kW, em que 59,09 kW dizem respeito às perdas por evaporação. As perdas por evaporação representam cerca de 39% da energia calorífica produzida nas caldeiras.

O edifício apresenta um consumo anual de eletricidade de 166482 kWh em que 69% deste valor é provocado pelas unidades de tratamento de ar e a iluminação apresenta apenas um peso de 3%.

O consumo anual de gás natural por parte das caldeiras é de 1317240 kWh, sendo que estas são as responsáveis por toda a produção de energia térmica do edifício.

A simulação dinâmica do edifício permitiu concluir que este apresenta um IEE de 1269,9 kWh/m².ano. O rácio de classe energética (R_{IEE}) é de 1,24 o que significa que o edifício pertence à classe energética C.

As medidas estudadas para a melhoria da eficiência energética, nomeadamente integração energética com uma central de ciclo combinado, aplicação de cobertura

isotérmica nas piscinas e substituição do telhado na zona da nave, mostraram-se viáveis. O estudo da possibilidade da realização de uma integração energética permitiu concluir que a poupança anual é de 9 374 € e o investimento é recuperado em menos de 1,5 anos. Relativamente à aplicação de cobertura isotérmica o investimento é de 14 000 € e é recuperado em 2 anos. A substituição do telhado na zona da nave tem um investimento de 20 500 € e a recuperação realiza-se num período de 3,5 anos.

Bibliografia

- [1] A. F. Carrinho, “Poupança energética associada ao uso de cobertura isotérmica sobre o plano de água,” Porto, 2010.
- [2] Adene - Agência para a energia, “Guia da eficiência energética,” 2010. [Online]. Available: http://intranet.ipleiria.pt/servicos/si/Ficheiros/guia_eficiencia_energetica.pdf.
- [3] Adene, “Eficiência Energética na Indústria,” Gaia, 2004.
- [4] EDP, “EDP,” [Online]. Available: <https://www.edp.pt/pt/empresas/servicosenergia/eficienciaenergetica/Pages/AuditoriaEnerg%C3%A9tica.aspx>. [Acedido em 1 Março 2014].
- [5] Traço Técnico, “Traço Técnico,” [Online]. Available: <http://www.tracotecnico.pt/servicos/auditorias/>. [Acedido em 5 Março 2014].
- [6] Portal Energia, “Portal Energia,” 2014. [Online]. Available: <http://www.portal-energia.com/a-importancia-e-fases-de-uma-auditoria-energetica/>. [Acedido em 5 Março 2014].
- [7] “Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro”.
- [8] L. Coelho, “Edifícios de Comércio e Serviços - O Que Mudou na Certificação Energética,” Setúbal, 2014.
- [9] Certificação de Edifícios e Serviços, S.A., “QAI,” [Online]. Available: <http://www.qai.pt/quality.html>. [Acedido em 28 Abril 2014].
- [10] Agência Portuguesa do Ambiente e Laboratório Referência do Ambiente , “Qualidade do Ar em Espaços Interiores - Um Guia Técnico,” Agência Portuguesa do Ambiente , Amadora, 2009.
- [11] Â. C. d. C. Bernardes, “ANÁLISE DOS MÉTODOS DE AUDITORIA À QUALIDADE DO AR INTERIOR – RSECE,” Universidade de Aveiro, Aveiro, 2009.
- [12] Mundo Educação, [Online]. Available: <http://www.mundoeducacao.com/quimica/compostos-organicos-volateis.htm>. [Acedido em 5 Maio 2014].

- [13] “Portaria n.º 353-A/2013 de 4 de dezembro”.
- [14] B. M. Guimarães, “Piscinas: consumos energéticos associados e a aplicação de energias renováveis,” Porto, 2012.
- [15] V. Beleza, R. Santos e M. Pinto, Piscinas: tratamento de águas e utilização de energia, Porto: Fundação Instituto Politécnico do Porto, 2007.
- [16] V. R. Gerner, “Coeficiente Global de Transmissão de Calor,” 2012.
- [17] J. V. Rodrigues, “Integração Energética dos Processos de Stripping e de Secagem de uma Unidade de Produção de PVC em Suspensão,” Coimbra, 2012.
- [18] Galécia, “Catálogo de produtos,” 2014-2015.
- [19] Zantiflex, “Tubagens e acessórios”.
- [20] Wilo, “Tabela de preços 2012”.
- [21] AstralPool, [Online]. Available: <http://www.artepiscinas.pt/produto/295/astralpool--cobertura-isotermica--espuma-de-5-mm/>. [Acedido em 12 Outubro 2014].
- [22] Cobermat, [Online]. Available: <http://www.cobermat.com/produtos/painel-sandwich/coberturas/c3-1000.html>. [Acedido em 12 Outubro 2014].
- [23] “Decreto Regulamentar n.º 5/97 de 31 de Março”.
- [24] Google Maps, [Online]. Available: <https://maps.google.pt/>. [Acedido em 15 Março 2014].
- [25] Conselho Nacional da Qualidade, “Diretiva CNQ 23/93 - A qualidade nas piscinas de uso público”.
- [26] A. C. Faria, “Piscinas - Instalações de tratamento de água,” 2012.
- [27] Mecalux, [Online]. Available: <http://www.logismarket.pt/cobermaster/chapas-e-paineis/3329967297-1643748073-p.html>. [Acedido em 10 Outubro 2014].
- [28] RC METAL estruturas e calhas, [Online]. Available: <http://rcmetal.comunidades.net/index.php?pagina=1584067461>. [Acedido em 10 Outubro 2014].

Anexo A – Áreas das diversas divisões do edifício

Na tabela que se segue encontram-se as áreas das diversas divisões existentes no edifício, bem como a área total do mesmo.

Tabela A.1. Áreas de cada divisão do edifício

	Área interna (m ²)	Área externa (m ²)
Balneário feminino 1	23	25
Balneário feminino 2	35	38
Chuveiros BF	45	49
Corredor BF	9	11
Balneário masculino 1	20	23
Balneário masculino 2	35	38
Chuveiros BM	35	39
Corredor BM	7	9
Corredor	21	25
Balneários colaboradores	19	21
Receção	21	25
Hall da receção	60	65
Sala dos Professores 1	10	12
Sala dos Professores 2	13	16
Sala dos filtros	44	48
Sala das caldeiras	58	63
Bar	21	24
Nave	840	859
Total	1315	1392

Anexo B – Valores registados nas medições dos parâmetros QAI

Neste anexo encontram-se todos os valores registados durante as medições da qualidade do ar interior do edifício.

Tabela B.1 Valores das medições das partículas

		PM _{0,5}	PM _{1,0}	PM _{2,5}	PM _{5,0}	PM _{10,0}	PM _{0,5}	PM _{1,0}	PM _{2,5}	PM _{5,0}	PM _{10,0}
	Local	(µg/m³)	(µg/ m³)	(µg/ m³)	(µg/ m³)	(µg/ m³)	(mg/ m³)	(mg/ m³)	(mg/ m³)	(mg/ m³)	(mg/ m³)
m1	1	7,71	12,43	26,85	67,88	89,72	0,007712	0,012433	0,026854	0,067881	0,089723
m2	2	7,93	12,50	25,03	56,33	66,86	0,007934	0,012499	0,025029	0,05633	0,066861
m3	3	6,75	10,94	21,76	48,53	57,00	0,006755	0,010937	0,02176	0,048532	0,056995
m4	4	6,77	10,95	21,47	47,50	54,64	0,006769	0,010954	0,021467	0,047502	0,054639
sala prof	5	6,93	11,39	22,54	56,65	76,19	0,006927	0,011395	0,022539	0,056652	0,076193
mc1	6	6,93	11,09	21,28	45,95	54,65	0,006926	0,011086	0,021275	0,04595	0,054648
mr	7	5,92	9,58	21,04	59,65	79,77	0,005919	0,009585	0,021037	0,059646	0,079772
mb	8	4,45	7,42	15,24	31,46	40,04	0,00445	0,007424	0,015237	0,031457	0,040038
me	9	5,42	8,78	21,72	70,46	102,68	0,005419	0,008775	0,021718	0,070458	0,102675

Tabela B.2. Valores de radão registados

	Radão	Valor limite
	Bq/m³	Bq/m³
Sala dos Filtros	18	400

Tabela B.3. Valores de compostos orgânicos voláteis registrados

	Zona	COVs (ppm)	Limite (ppm)
m1	1	0,51	0,26
m2	2	0,31	0,26
m3	3	0,22	0,26
m4	4	0,16	0,26
sala prof	5	-	0,26
mc1	6	0,02	0,26
mr	7	0,00	0,26
mb	8	0,00	0,26
me	9	0,00	0,26

Tabela B.4. Valores de formaldeído registrados

	Zona	Formaldeído (ppm)	Limite (ppm)
m1	1	0	0,08
m2	2	0	0,08
m3	3	0	0,08
m4	4	0	0,08
sala prof	5	0	0,08
mc1	6	0	0,08
mr	7	0	0,08
mb	8	0	0,08
me	9	0	0,08

Tabela B.5. Valores de temperatura registrados

	Zona	Temperatura °C
m1	1	26,3
m2	2	27,7
m3	3	28,3
m4	4	28,6
sala prof	5	-
mc1	6	28,4
mr	7	24,7
mb	8	26,5
me	9	24,7

Tabela B.6. Valores de humidade relativa registados

	Zona	Humidade %RH
m1	1	75
m2	2	75
m3	3	73
m4	4	63
sala prof	5	-
mc1	6	61
mr	7	47
mb	8	55
me	9	47

Tabela B.7. Valores de dióxido de carbono registados

	Zona	CO ₂ ppm	Limite (ppm)
m1	1	637	1250
m2	2	606	1250
m3	3	616	1250
m4	4	561	1250
sala prof	5	-	1250
mc1	6	609	1250
mr	7	531	1250
mb	8	473	1250
me	9	531	1250

Tabela B.8. Valores de monóxido de carbono registados

	Zona	CO ppm	Limite (ppm)
m1	1	1,80	9
m2	2	2,20	9
m3	3	2,40	9
m4	4	2,46	9
sala prof	5	-	9
mc1	6	2,36	9
mr	7	1,43	9
mb	8	1,00	9
me	9	1,43	9

Anexo C – Quantidade de água utilizada

Água utilizada nos tanques

Segundo a Diretiva CNQ 23/93 o caudal mínimo de circulação/recirculação deve respeitar a seguinte razão:

$$Q = \frac{V}{R \times H} \quad (C.1)$$

Em que:

Q – Caudal mínimo de circulação/recirculação, m³/h;

V – Capacidade do tanque de natação, m³;

H – Profundidade média do tanque, m;

R – Fator de recirculação, h/m.

O fator de recirculação, R, é dependente das condições de ocupação e de exposição dos tanques e da eficácia do sistema de tratamento que é utilizado, sendo obtido pela seguinte expressão:

$$R = k \times f \quad (C.2)$$

Em que:

k – Fator de rendimento do sistema de tratamento;

f – Fator de ocupação específica.

Os valores de k e f são fixos dependendo apenas do tipo de piscina e de tratamento que a água da piscina sofre, *Tabela C.1.*

Tabela C.1. Valores do fator de rendimento e de ocupação específica

k	f
Tratamento Tipo I: 0,5 banhista/m ³	Piscinas ar livre/convertível: 3 m ² .h/banhista
Tratamento Tipo II: 0,6 banhista/ m ³	Piscinas cobertas: 4 m ² .h/banhista

Posto isto, através da análise da *Tabela C.1*, os valores de k e f são, respetivamente, 0,5 banhista/m³ e 4 m².h/banhista.

Substituindo na equação C.2 tem-se que:

$$R = 0,5 \times 4 = 2 \text{ h/m}$$

Uma vez conhecido o valor do fator de recirculação, é possível determinar o valor do caudal mínimo de recirculação através da equação C.1.

Piscina grande

$$Q = \frac{433}{2 \times 1,7}$$

$$Q = 127 \text{ m}^3/\text{h}$$

Piscina pequena

$$Q = \frac{75}{2 \times 1,25}$$

$$Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

O período de recirculação (T) é dado pela seguinte expressão:

$$T = R \times H \text{ (C.3)}$$

Sendo assim tem-se que:

Piscina grande

$$T = 2 \times 1,7$$

$$T = 3,4 \text{ h}$$

Piscina pequena

$$T = 2 \times 1,25$$

$$T = 2,5 \text{ h}$$

O valor máximo do período de recirculação recomendado é de 8 horas [23], como se pode verificar ambas as piscinas estão dentro dos limites recomendados.

O número de ciclos diários, ou seja, número de renovações em cada 24 horas é obtido pela expressão $N=24/T$. Sendo assim tem-se:

Piscina grande

$$N = \frac{24}{3,4}$$

$$N = 7 \text{ ciclos}$$

Piscina pequena

$$N = \frac{24}{2,5}$$

$$N = 9,6 \text{ ciclos}$$

Como já foi dito anteriormente a água da piscina é recirculada, contudo existem sempre perdas. Estas perdas ocorrem por evaporação, salpicos, purga, lavagens de filtros.

Segundo a Diretiva CNQ 23/93, a reposição mínima diária de água de compensação deve ser de 2% a 5% do volume da piscina.

Posto isto:

Piscina grande

$$Q_{\text{compensação}} = 433 \times 0,05$$

$$Q_{\text{compensação}} = 21,65 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Piscina pequena

$$Q_{\text{compensação}} = 30 \times 0,05$$

$$Q_{\text{compensação}} = 1,5 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Pelos registos diários do consumo de água nova que são obtidos através dos contadores instalados nas linhas de alimentação de água às piscinas, tem-se que para a piscina grande o consumo de água é cerca de 22 m³/dia (0,25 kg/s) e para a piscina pequena é de 2 m³/dia (0,023 kg/s), o que significa que o valor mínimo de água de compensação recomendado é respeitado. O consumo mensal de água nos tanques de natação é de 720 m³.

Água utilizada para higiene dos utentes e do edifício

Como já foi referido anteriormente, o consumo de água por parte de uma instalação com piscinas não se resume apenas à água gasta nos tanques mas também à água consumida nos banhos, descargas das sanitas, torneiras dos lavatórios, limpeza das instalações e utilização no bar.

Banhos de Chuveiro

Geralmente cada utente toma no mínimo três banhos, dois dos banhos ocorrem antes e depois de ir para a piscina, onde um sensor de presença ativa o chuveiro durante 20 segundos, e por último o banho que ocorre já no interior do balneário e que apresenta em geral uma duração de 3 minutos. Sendo assim, o tempo total que cada banhista consome de água é de 3 minutos e 40 segundos. O chuveiro apresenta um caudal de 9 L/min. Uma vez que o número médio diário de banhistas é de 150, o consumo diário de água em banhos é de 4,95 m³/dia, o que resulta num consumo mensal de 148 m³/mês.

Outros fins onde a água é consumida

Como não existem contadores individuais em cada torneira e saída de água do edifício, o cálculo da água consumida por outros fins foi realizado com base no que Beleza *et al.* referem. Sendo assim, nas piscinas públicas estima-se que o consumo de água para outros fins deve variar entre 15 e 30 L/dia/m² de plano de água. Uma vez que neste caso de estudo a água é utilizada apenas para as instalações sanitárias e para limpeza das instalações, considerou-se que o consumo de água para outros fins é de 15 L/dia/m². Posto isto, sendo a área de plano de água 315,6 m² o consumo mensal de água para outros fins é de 142 m³.

Anexo D – Carta psicrométrica

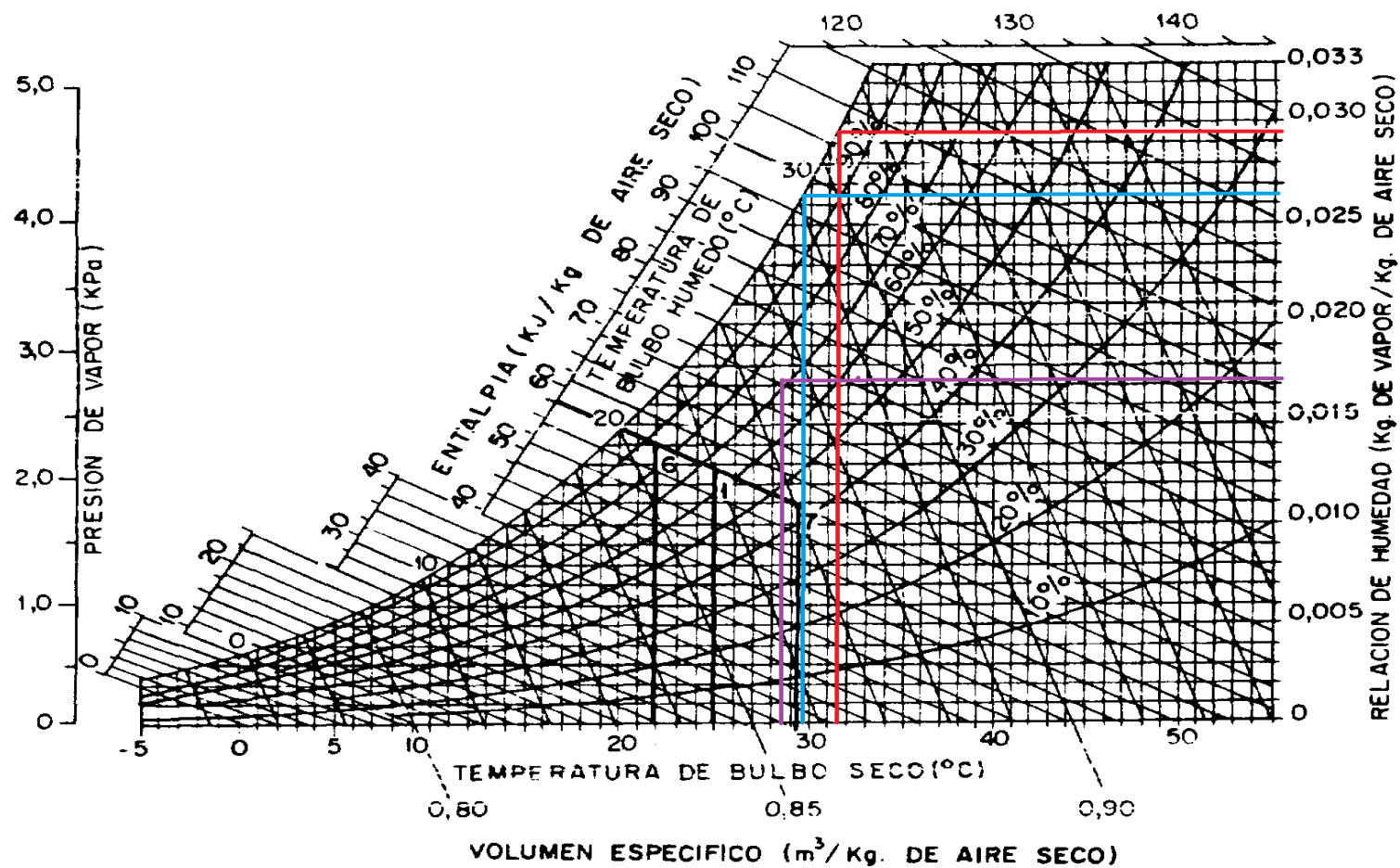


Figura D.1 Carta psicrométrica com os valores de humidade relativa para as perdas por evaporação

Anexo E – Consumos de eletricidade, gás natural e água

Neste anexo estão presentes os dados relativos ao consumo de eletricidade, água e gás natural do edifício.

Tabela E.1. Valores dos consumos de eletricidade em 2011 em kWh

Janeiro	10084
Fevereiro	10540
Março	11042
Abril	8220
Maio	9792
Junho	9250
Julho	8762
Agosto	8096
Setembro	10098
Outubro	12720
Novembro	14510
Dezembro	21738
Total	134852

Tabela E.2. Valores dos consumos de eletricidade em 2012 em kWh

	S. Vazia	Vazio	Ponta	Cheias	Leituras	TOTAL kWh
Janeiro	1709	2563	2564	6058	-	12894
Fevereiro	2018	3026	2658	6374	-	14076
Março	1554	2414	2033	5525	11526	11526
Abril	1656	2925	1305	6716	12602	9458
Maio	2853	5471	2193	11438	21955	9353
Junho	4014	7606	3141	16241	31002	9047
Julho	5243	9856	4026	20979	40104	9102
Agosto	6334	11706	4610	24747	47397	7293
Setembro	7263	13383	5268	28526	54440	7043
Outubro	8584	16101	6395	33191	64271	9831
Novembro	9982	18602	8499	37623	74706	10435
Dezembro	11447	21154	10508	42063	85172	10466
Total						120524

Tabela E.3. Valores dos consumos de eletricidade em 2013 em kWh

	S. Vazia	Vazio	Ponta	Cheias	Consumo total
Janeiro	1519	3071	2121	4655	11366
Fevereiro	1509	2711	2090	4332	10642
Março	1654	2768	2140	5029	11591
Abril	1617	2859	934	5478	10888
Maio	1701	2998	1010	5482	11191
Junho	1656	2825	983	5288	10752
Julho	1672	3144	913	5161	10890
Agosto	1447	2239	775	4057	8518
Setembro	1239	2072	766	4186	8263
Outubro	1604	3076	1164	4968	10812
Novembro	1590	2767	1913	4559	10829
Dezembro	-	-	-	-	10631
TOTAL					126373

Tabela E.4. Valores dos consumos de gás natural em m³

	2011	2012	2013
Total	125078	130186	125099

Tabela E.5. Valores dos consumos de água em m³

	2011	2012
Janeiro	1301	1159
Fevereiro	1229	1072
Março	1240	1233
Abril	936	1045
Maio	1064	1197
Junho	1087	1248
Julho	1171	1202
Agosto	927	911
Setembro	888	688
Outubro	983	902
Novembro	1119	1075
Dezembro	1434	1036
Total	13379	12768

Anexo F – Resultados do Cálculo Dinâmico Simplificado do desempenho térmico do edifício

Neste anexo estão presentes todos os resultados da simulação dinâmica ao edifício.

Tabela F.1. Necessidades anuais

Edifício	Total	Por área da zona térmica	Por área de pavimento útil
Aquecimento	178865 kWh	138,5 kWh/m ²	128,1 kWh/m ²
Arrefecimento	72470 kWh	56,1 kWh/m ²	51,9 kWh/m ²
Águas Quentes Sanitárias	68164 kWh	52,80 kWh/m ²	48,83 kWh/m ²
Águas Quentes de Piscina	855354 kWh	662,55 kWh/m ²	612,72 kWh/m ²
Referência	Total	Por área da zona térmica	Por área de pavimento útil
Aquecimento	88249 kWh	68,4 kWh/m ²	63,2 kWh/m ²
Arrefecimento	52960 kWh	41,0 kWh/m ²	37,9 kWh/m ²
Águas Quentes Sanitárias	68164 kWh	52,80 kWh/m ²	48,83 kWh/m ²
Águas Quentes de Piscina	855354 kWh	662,55 kWh/m ²	612,72 kWh/m ²

Tabela F.2. Consumos anuais de energia final

Edifício	Total	Por área da zona térmica	Por área de pavimento útil
Aquecimento	198739 kWh	153,9 kWh/m ²	142,4 kWh/m ²
Arrefecimento	80522 kWh	62,4 kWh/m ²	57,7 kWh/m ²
Águas Quentes Sanitárias	75738 kWh	58,7 kWh/m ²	54,3 kWh/m ²
Aquecimento de Água de Piscina	994598 kWh	770,4 kWh/m ²	712,5 kWh/m ²
Ventilação	114057 kWh	88,3 kWh/m ²	81,7 kWh/m ²
Bombagem	46984 kWh	36,4 kWh/m ²	33,7 kWh/m ²
Humidificação e Desumidificação	0	0,0	0,0
Iluminação interior	6264 kWh	4,9 kWh/m ²	4,5 kWh/m ²
Iluminação exterior	14 kWh	0,0 kWh/m ²	0,0 kWh/m ²
Equipamentos	1938 kWh	1,5 kWh/m ²	1,4 kWh/m ²
Referência	Total	Por área da zona térmica	Por área de pavimento útil
Aquecimento	102615 kWh	79,5 kWh/m ²	73,5 kWh/m ²
Arrefecimento	19615 kWh	15,2 kWh/m ²	14,1 kWh/m ²
Águas Quentes Sanitárias	79261 kWh	61,4 kWh/m ²	56,8 kWh/m ²
Aquecimento de Água de Piscina	994598 kWh	770,4 kWh/m ²	712,5 kWh/m ²
Ventilação	5 772 kWh	4,5 kWh/m ²	4,1 kWh/m ²
Bombagem	46 984 kWh	36,4 kWh/m ²	33,7 kWh/m ²
Humidificação e Desumidificação	0	0,0	0,0
Iluminação interior	26784 kWh	20,7 kWh/m ²	19,2 kWh/m ²
Iluminação exterior	14 kWh	0,0 kWh/m ²	0,0 kWh/m ²
Equipamentos	1938 kWh	1,5 kWh/m ²	1,4 kWh/m ²

Tabela F.3. Consumos anuais de energia final

Edifício	Total	Por área da zona térmica	Por área de pavimento útil
Electricidade	169257 kWh	131,1 kWh/m ²	121,2 kWh/m ²
<i>da rede</i>	<i>169257 kWh</i>	<i>131,1 kWh/m²</i>	<i>121,2 kWh/m²</i>
<i>local (renovável)</i>	<i>0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>
Calor de origem fóssil	1349597 kWh	1045,4 kWh/m ²	966,8 kWh/m ²
<i>Gás natural</i>	<i>1349597 kWh</i>	<i>1045,4 kWh/m²</i>	<i>966,8 kWh/m²</i>

Tabela F. 4. Clima e local

NUTS III: Grande Porto	Zona: V2 - I1
Município: ---	Altitude: 94 m
Local: Típico desta região	

Tabela F. 5. Síntese dos parâmetros de entrada do modelo 5R1C

Edifício			Referência	
Inércia				
A _m	3228	m²	3228	m²
C _m	103,3	MJ/K	103,3	MJ/K
A _T	5810	m²	5810	m²
Coeficientes de transferência de calor				
H _{tr,op}	9 222	W/K	1 849	W/K
H _{tr,ms}	29 370	W/K	29 370	W/K
H _{tr,em}	13 443	W/K	1 973	W/K
H _{tr,w}	451	W/K	1 193	W/K
H _{tr,is}	20 043	W/K	20 043	W/K
Utilização				
q _{ilu,u}	3,9	W/m²	16,7	W/m²
q _{equi,u}	0,0	W/m²	0,0	W/m²
Q _{equi,per}	0,02	W	0,02	W
Q _{Hc,nd}	0	W	0	W
Q _{Hc_10}	12 910	W	12 910	W
Áreas equivalentes de captação solar - opacas				
A _N	2,11	m²	0,78	m²
A _{NW}	0,00		0,00	
A _W	5,95	m²	2,09	m²
A _{SW}	0,00		0,00	
A _S	3,41	m²	1,34	m²
A _{SE}	0,00		0,00	
A _E	8,58	m²	3,04	m²
A _{NE}	0,00		0,00	
A _{hor}	99,66	m²	11,19	m²
Áreas equivalentes de captação solar - envidraçadas				
	s/proteção	c/proteção	s/proteção	c/proteção
A _N	3,72 m²	3,72 m²	4,16 m²	4,16 m²
A _{NW}	0,00	0,00	0,00	0,00
A _W	5,49 m²	3,84 m²	11,21 m²	11,21 m²
A _{SW}	0,00	0,00	0,00	0,00
A _S	10,04 m²	1,00 m²	7,17 m²	7,17 m²
A _{SE}	0,00	0,00	0,00	0,00
A _E	9,02 m²	5,00 m²	16,30 m²	16,30 m²
A _{NE}	0,00	0,00	0,00	0,00
A _{hor}	1,18 m²	0,18 m²	0,00 m²	0,00 m²

Tabela F. 6. Índices de eficiência energética

Edifício			Referência
IEE _S	1266,4	kWh/m ²	1020,3 kWh/m ²
IEE _T	3,5	kWh/m ²	3,5 kWh/m ²
IEE _{REN}	0,0	kWh/m ²	
IEE	1269,9	kWh/m ²	1023,8 kWh/m ²
R	1,24	(Classe C)	

Anexo G – Resultados do Cálculo Dinâmico Simplificado do desempenho térmico do edifício com substituição do telhado

Tabela G.1. Necessidades anuais que são expressas em energia útil com telhado novo

Edifício	Total	Por área da zona térmica	Por área de pavimento útil
Aquecimento	62257 kWh	48,2 kWh/m ²	44,6 kWh/m ²
Arrefecimento	49872 kWh	38,6 kWh/m ²	35,7 kWh/m ²
Águas Quentes Sanitárias	68164 kWh	52,80 kWh/m ²	48,83 kWh/m ²
Águas Quentes de Piscina	855354 kWh	662,55 kWh/m ²	612,72 kWh/m ²
Referência	Total	Por área da zona térmica	Por área de pavimento útil
Aquecimento	88249 kWh	68,4 kWh/m ²	63,2 kWh/m ²
Arrefecimento	52960 kWh	41,0 kWh/m ²	37,9 kWh/m ²
Águas Quentes Sanitárias	68164 kWh	52,80 kWh/m ²	48,83 kWh/m ²
Águas Quentes de Piscina	855354 kWh	662,55 kWh/m ²	612,72 kWh/m ²

Tabela G.2. Consumos anuais de energia final, por uso com telhado novo

Edifício	Total	Por área da zona térmica	Por área de pavimento útil
Aquecimento	69174 kWh	53,6 kWh/m ²	49,6 kWh/m ²
Arrefecimento	55413 kWh	42,9 kWh/m ²	39,7 kWh/m ²
Águas Quentes Sanitárias	75738 kWh	58,7 kWh/m ²	54,3 kWh/m ²
Aquecimento de Água de Piscina	994598 kWh	770,4 kWh/m ²	712,5 kWh/m ²
Ventilação	114057 kWh	88,3 kWh/m ²	81,7 kWh/m ²
Bombagem	46984 kWh	36,4 kWh/m ²	33,7 kWh/m ²
Humidificação e Desumidificação			
Iluminação interior	6264 kWh	4,9 kWh/m ²	4,5 kWh/m ²
Iluminação exterior et al.	14 kWh	0,0 kWh/m ²	0,0 kWh/m ²
Equipamentos	1938 kWh	1,5 kWh/m ²	1,4 kWh/m ²
Referência	Total	Por área da zona térmica	Por área de pavimento útil
Aquecimento	102615 kWh	79,5 kWh/m ²	73,5 kWh/m ²
Arrefecimento	19615 kWh	15,2 kWh/m ²	14,1 kWh/m ²
Águas Quentes Sanitárias	79261 kWh	61,4 kWh/m ²	56,8 kWh/m ²
Aquecimento de Água de Piscina	994598 kWh	770,4 kWh/m ²	712,5 kWh/m ²
Ventilação	5 772 kWh	4,5 kWh/m ²	4,1 kWh/m ²
Bombagem	46 984 kWh	36,4 kWh/m ²	33,7 kWh/m ²
Humidificação e Desumidificação	0	0,0	0,0
Iluminação interior	26784 kWh	20,7 kWh/m ²	19,2 kWh/m ²
Iluminação exterior et al.	14 kWh	0,0 kWh/m ²	0,0 kWh/m ²
Equipamentos	1938 kWh	1,5 kWh/m ²	1,4 kWh/m ²

Tabela G.3. Consumos anuais de energia final, por fonte de energia com o telhado novo

Edifício	Total	Por área da zona térmica	Por área de pavimento útil
Electricidade	169257 kWh	131,1 kWh/m ²	121,2 kWh/m ²
da rede	169257 kWh	131,1 kWh/m ²	121,2 kWh/m ²
local (renovável)			
Calor de origem fóssil	1194923 kWh	925,6 kWh/m ²	856,0 kWh/m ²
gás natural	1194923 kWh	925,6 kWh/m ²	856,0 kWh/m ²

Tabela G.4. Índices de Eficiência Energética com o telhado novo

	Edifício	Referência
IEE _S	1155,6 kWh/m ²	1020,3 kWh/m ²
IEE _T	3,5 kWh/m ²	3,5 kWh/m ²
IEE _{REN}	0,0 kWh/m ²	
IEE	1159,1 kWh/m ²	1023,8 kWh/m ²
R	1,13 (Classe C)	

Anexo H – Resultados do cálculo de poupança energética com a implementação da integração energética

Neste anexo encontram-se os valores de energias gastos para o aquecimento da água de compensação, da AQS e do caudal de ar novo. Os balanços efetuados foram com base na equação 5.1. Também se encontra o cálculo do caudal de água necessário para efetuar a permuta pretendida.

Tabela H.1. Energia gasta no aquecimento da água de compensação com integração e sem integração energética

Mês	Energia gasta sem integração (kWh)	Energia gasta com integração (kWh)
Janeiro	13320	7207
Fevereiro	14338	8226
Março	14975	8863
Abril	14797	8685
Maio	15561	9449
Junho	14873	8761
Julho	13523	7411
Agosto	11410	5297
Setembro	11537	5425
Outubro	13447	7335
Novembro	13880	7768
Dezembro	14160	8048
Anual (kWh)	165821	92474
Energia Poupada (kWh)	73347	
Poupança monetária (€)	2934	

Tabela H.2. Energia gasta no aquecimento da AQS com integração e sem integração energética

Mês	Energia gasta sem integração (kWh)	Energia gasta com integração (kWh)
Janeiro	6160	4785
Fevereiro	6389	5014
Março	6532	5157
Abril	6492	5117
Maio	6664	5289
Junho	6510	5134
Julho	6206	4831
Agosto	5730	4355
Setembro	5759	4384
Outubro	6189	4813
Novembro	6286	4911
Dezembro	6349	4974
Anual (kWh)	75267	58764
Energia Poupada (kWh)	16503	
Poupança monetária (€)	660	

Tabela H.3. Energia gasta no aquecimento do ar novo com integração e sem integração energética

Mês	Energia gasta sem integração (kWh)	Energia gasta com integração (kWh)
Janeiro	29855	17812
Fevereiro	31862	19820
Março	33116	21074
Abril	32765	20723
Maio	34270	22228
Junho	32915	20873
Julho	30256	18214
Agosto	26092	14049
Setembro	26342	14300
Outubro	30106	18063
Novembro	30959	18916
Dezembro	31511	19468
Anual	370048	225541
Energia Poupada	144507	
Poupança monetária (€)	5780	

Para a AQS e para a água de compensação o caudal necessário para permuta é igual ao caudal de circulação de cada uma delas.

AQS:

$$4,95 \text{ m}^3/\text{dia} = 0,20 \text{ m}^3/\text{h}$$

Água de compensação:

$$24 \text{ m}^3/\text{dia} (22 \text{ piscina grande} + 2 \text{ piscina pequena}) = 1 \text{ m}^3/\text{h}$$

Relativamente ao caudal de água para permuta com o ar novo tem-se:

$$\dot{m}_{\text{AR}} \times \rho \times c_p \times \Delta T = \dot{m}_{\text{água}} \times \rho \times c_p \times \Delta T$$

$$6727 \times 1,2 \times 1 \times 8 = \dot{m}_{\text{água}} \times 997 \times 4,18 \times 8$$

$$\dot{m}_{\text{água}} = 1,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

O caudal total de água necessário é:

$$\text{Caudal total} = \text{caudal para AQS} + \text{caudal para compensação} + \text{caudal para o ar}$$

$$\text{Caudal total} = 0,2 + 1 + 1,8 = 3 \text{ m}^3/\text{h}$$

O caudal de água de arrefecimento utilizado pela central de ciclo combinado é cerca de 37490 m³/h.

De seguida encontram-se algumas propriedades dos equipamentos necessários.

Tabela. H.4. Propriedades dos equipamentos [18, 19, 20]

Equipamento	Potência/diâmetro
Permutador de placas	30 kW
Permutador compacto	40 kW
Tubagens	40 mm
Acessórios	40 mm
Bombas	100 W

O material das tubagens é polipropileno, estas tubagens são indicadas para águas quentes uma vez que possuem baixa condutividade térmica. [19]